

COMITE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU CAOUTCHOUC

CSTC - CIRAD-IRCA

Procès-verbal de la 17ème réunion

tenue à Montpellier le 27 mars 1992



Institut de Recherches sur le Caoutchouc

*Département du Centre de Coopération Internationale
en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)
42, rue Scheffer 75116 Paris (France) - Tél. : (1) 47.04.32.15*

Télex : 620871 INFRANCA PARIS

SOMMAIRE

| | | |
|--|--|-----------|
| Présentation de la nouvelle Direction CIRAD-IRCA. Evolution de l'IRCA vers le CIRAD-Cultures Pérennes (CP) | H. Manichon | 3 |
| Introduction du Président du CSTC | Pr. J. d'Auzac | 7 |
| TECHNOLOGIE | | 13 |
| 1- Evolution de la coopération en technologie au sein de l'IRRDB. Compte-rendu de la réunion IRRDB aux Philippines | H. de Livonnière | 15 |
| 2 - Séchage et qualité | J. Sainte-Beuve | 21 |
| 3 - Nouvelles perspectives dans la modification chimique du caoutchouc naturel | J.C. Brosse, D. Reyx, D. Derouet, G. Boccaccio | 35 |
| AGRONOMIE | | 45 |
| 1 - Intérêts et avancées de l'embryogenèse somatique chez les plantes perennes | J. Meunier | 47 |
| 2 - Recherches de base et résultats de l'embryogenèse somatique chez <i>Hevea brasiliensis</i> | M.P. Carron | 50 |
| 3 - Marqueurs moléculaires et identification clonale chez l'hévéa : développement des empreintes génétiques par RFLP et application <i>in situ</i> des isozymes. | M. Seguin | 58 |
| 4 - Un nouveau système de saignée | J.L. Jacob | 69 |
| 5 - SPOT - L' Emploi de la télédétection en hévéaculture | J.M. Eschbach | 73 |
| 6 - Face à l'aggravation des maladies de feuilles de l'hévéa, quel développement des recherches ? Les maladies de feuilles de l'hévéa | D. Despréaux | 79 |
| Présentation du Directeur de l'IRCA | A. Weil | 93 |
| Conclusion du Président du CSTC | Pr. J. d'Auzac | 97 |
| Liste des participants | | 103 |

PRESENTATION DE LA NOUVELLE DIRECTION CIRAD-IRCA. EVOLUTION DE L'IRCA VERS LE CIRAD-CULTURES PERENNES (CP)

H. Manichon

Le CSTC est en fait, entre les différents départements du CIRAD, le Comité de programme qui a la plus longue durée d'existence et le fonctionnement le plus harmonieux. C'est une assemblée qui associe nos chercheurs et les différents partenaires de la filière. Dans la nouvelle organisation du CIRAD nous voulons absolument revigorer cette structure. L'IRCA est donc un précurseur.

Comme vous le savez, il y a eu et il y aura encore, un certain nombre de changements dans l'organisation du CIRAD. Lors de la nomination de M. Carsalade, la lettre de mission du ministre M. Curien recommandait de réfléchir à une réorganisation du CIRAD pour le rendre plus efficace et plus apte à remplir ses missions. Le projet d'entreprise a confirmé cette mission du CIRAD: contribuer au développement économique et social des pays défavorisés et particulièrement ceux situés dans la zone intertropicale. Nous avons proposé à notre conseil d'administration, en décembre dernier, une réorganisation par étapes, consistant à fusionner un certain nombre de départements.

Dans l'ordre chronologique, il y a eu, au 1^{er} janvier 1992, la création du département CIRAD-SAR (Systèmes agro-alimentaires et ruraux), résultant de la fusion du CEEMAT (Centre d'études et d'expérimentation en mécanisation agricole et technologie alimentaire) et du DSA (Département systèmes agraires). Jacques Lefort en a pris la tête avec un mandat qui concerne les unités de production dans leur ensemble, des exploitations agricoles ou des unités de transformation et l'utilisation de l'espace par les communautés rurales.

Le deuxième département nouveau s'appelle CIRAD-CA (Cultures annuelles), il résulte de la fusion de l'IRAT (cultures vivrières), de l'IRCT (filière cotonnier-coton), de la division oléagineux annuels de l'IRHO. La motivation de ce regroupement est d'étudier aussi bien les filières de production, vivrières ou industrielles, que les systèmes de cultures correspondants qui associent dans la plupart des cas plusieurs espèces végétales. Sa création sera effective au 1^{er} juillet prochain. Les équipes qui se constituent sont en train de réfléchir à leur plan à 5 ans qui sera présenté en décembre 1992.

Le département CIRAD-Cultures pérennes (CIRAD-CP) qui associe l'IRHO (le cocotier et le palmier à huile), l'IRCC avec ses programmes café et cacao et l'IRCA avec son programme hévéa sera créé effectivement au 1^{er} janvier 1993.

A la tête du futur département CIRAD-CP il y a une organisation intérimaire avec 3 directeurs :

- Christian Brunin à la tête de l'IRHO ;
- à la tête de l'IRCC (café-cacao), quelqu'un que tous connaissent car il participe au CSTC depuis sa création : Paul Gener. Celui-ci manifeste une aptitude remarquable à changer d'espèce végétale et de filière et à se mettre aux plantes stimulantes comme s'il avait fait ça toute sa vie. Cela prouve que

la formation et l'expérience qu'il a acquises au sein de l'hévéa et du caoutchouc lui servent énormément et je tiens à l'en remercier vivement, devant vous ;

- pour diriger l'IRCA, Alain Weil, qui a eu une carrière à l'INRA, puis au CIRAD.

Ces trois directeurs constituent une équipe très soudée, soucieuse de travailler en très grande harmonie, de manière à préparer l'émergence de ce nouveau département "Cultures Pérennes" dans les meilleures conditions.

Deux éléments importants ont été nommés:

- un directeur administratif et financier, Robert Jouanique (IRHO) qui a la lourde charge de préparer l'harmonisation du fonctionnement administratif et financier du CIRAD-CP et ce n'est pas une tâche mince.
- Jacques Meunier, directeur scientifique du nouveau département, ancien responsable de l'Amélioration génétique de l'IRHO et ancien responsable de la Mission Connaissance et Amélioration des Plantes du CIRAD.

Nous avons le souci que cette nouvelle organisation traduise une très grande cohérence, car il y a beaucoup de points et de problèmes communs, le plan à 5 ans nous le montre tous les jours. Il y a aussi des traits spécifiques qui seront préservés. Et nous tenons à conserver une grande fidélité au passé, au passé glorieux de l'IRCA, avec ses partenaires, avec l'état d'esprit de grande familiarité et de chaleur qui caractérise cette filière. Nous comptons sur le président d'Auzac pour nous préserver de toute tendance iconoclaste.

INTRODUCTION

INTRODUCTION du PRESIDENT du CSTC

Pr. J. d'AUZAC

Comme nous venons de l'entendre ce 17ème CSTC s'ouvre par de grands changements tandis que d'autres sont annoncés. Le regroupement d'un certain nombre de plantes pérennes autour du CIRAD-CP (CP pour Cultures Pérennes) constitue une évolution d'importance majeure. On doit en attendre un renforcement de l'efficacité de la recherche au sein d'une discipline par suite des échanges entre les spécialistes de la discipline sur des plantes différentes. On doit en attendre également un renforcement de la pluridisciplinarité de la recherche laquelle fait tous les jours et dans tous les domaines la preuve de son efficacité. De plus, des microéquipes pourront atteindre alors le niveau critique nécessaire à l'efficacité maximale.

Après quelques mois on est en droit d'être optimiste sur le fonctionnement de l'IRCA nouvelle formule et son intégration au CIRAD-CP. Je me permettrai cependant de rappeler que ce qui fait aujourd'hui le renom du CIRAD c'est le travail de plus d'un demi siècle de l'IRCA, de l'IRHO, de l'IRCC...J'aurai personnellement beaucoup de peine à voir disparaître le sigle IRCA. Ce serait, à mon avis, à la fois une erreur au plan de l'impact international du CIRAD et une quasi injustice au plan moral. Le sigle ORSTOM n'a pas disparu et qui connaît aujourd'hui dans le monde l'IFRSDC ?

Mais revenons à cette 17ème réunion du Comité Scientifique et technique de l'IRCA... Je vous avoue éprouver quelque fierté à avoir contribué à rassembler autour d'une table tous les partenaires de la **chaîne Caoutchouc** du Planteur au Manufacturier en passant par le Négociant.

Réunion autour des chercheurs de l'IRCA, eux-mêmes entourés de conseillers scientifiques distingués, appartenant aux organismes publics de la recherche française et couvrant l'ensemble des disciplines scientifiques employées par l'IRCA.

Notre objectif autour de cette table a toujours été triple :

- Présenter à la critique et à l'utilisation les nouveaux résultats majeurs de la Recherche
- Etre à l'écoute des problèmes qui sont posés du Planteur au Manufacturier
- Recueillir des avis et des critiques sur la nature des recherches à entreprendre et la meilleure façon de les aborder.

On a dit et même écrit que la structure du CSTC était unique au sein des instituts du CIRAD. Je ne sais si c'est encore vrai. J'espère que, dans les prochaines structures qui vont se mettre en place au sein du CIRAD-CP, il y aura la place pour poursuivre de telles rencontres. Tout en étant persuadé que la formule actuelle est imparfaite, donc améliorable et que de toute façon elle se doit d'évoluer pour éviter la sclérose.

Je vais comme à l'habitude tenter de faire brièvement le point des événements marquants qui ont influencé la vie scientifique de l'IRCA, particulièrement en évoquant des faits dont il ne sera pas question dans cette réunion.

En **Agronomie** une part importante de la recherche de terrain de l'IRCA repose sur la station IRCA de Bimbresso en Côte d'Ivoire. Là encore, on assiste à des

bouleversements du fait de la remise en question des accords de coopération. Là aussi, un regroupement des instituts du Sud de la Côte d'Ivoire s'est fait autour de l'IDFOR dans lequel l'IRCA est devenu le "**Département des Plantes à Latex**" (DPL). J. KELI Ingénieur agronome ivoirien en est le directeur ; Y. BANCHI est coordinateur scientifique.

J. COMMERE qui y était agronome spécialiste des systèmes d'exploitation a quitté la station. Deux physiologistes français de l'IRCA ont également quitté la Côte d'Ivoire. Le premier, E. SERRES est depuis 9 mois en charge d'un laboratoire de Diagnostic Latex couvrant 39.000 ha de plantations industrielles en Indonésie, au Nord-Sumatra. Le second R. LACROTTE a passé brillamment en novembre dernier une thèse sur le problème majeur de l'alimentation en sucre des vaisseaux laticifères ; il est pour un an en stage de recyclage en Biologie Moléculaire à l'Université et à l'INRA de Montpellier.

En Côte d'Ivoire, 2 jeunes chercheurs ivoiriens, en place depuis 3 ans, achèveront cette année une thèse, qui sur la Biologie Moléculaire de l'Encoche sèche, qui sur la Biologie Moléculaire de la typologie clonale. Une autre thèse sur les mécanismes moléculaires de la stimulation est en cours d'achèvement au CNRS à Gif/Yvette par V. PUJADE-RENAUD.

L'IRCA, bien persuadé de l'intérêt considérable de l'outil Biologie Moléculaire, développe, avec l'ORSTOM une entreprise conjointe dont H. CHRESTIN est le leader. Cette action débutera à la fin de l'été par un séjour d'un an d'H. CHRESTIN et d'un chercheur spécialiste de la Biologie Moléculaire et de l'*Hevea*, X. GIDROL. Ceci, dans le prestigieux laboratoire de Biologie Moléculaire du Pr. Nam CHUA à l'Université de Singapour. Cette action doit se développer en 1993 par une collaboration franco-thaïlandaise à l'Université MAIDHOL de BANGKOK. Deux, sinon trois chercheurs IRCA rejoindront alors l'équipe. Rappelons que l'objectif en est d'acquérir une **connaissance au niveau moléculaire des mécanismes liés : à la haute production des clones, à l'action stimulante de l'éthylène, ou à l'apparition de l'Encoche Sèche. Au plan de l'application immédiate on s'attend à de nouveaux outils pour le Diagnostic Latex et pour le Sélectionneur.**

Cette recherche de Biologie Moléculaire qui pourrait demain, déboucher sur le Génie Génétique s'appuie de façon **indispensable** sur les connaissances acquises et à venir en Physiologie-Biochimie du latex, connaissances élaborées pour l'essentiel au Laboratoire de Physiologie-Biochimie de l'IRCA-CIRAD/Montpellier de J.L. JACOB.

En **Amélioration**, l'IRCA poursuit, avec beaucoup de volontarisme, son programme de création de nouveaux clones en Côte d'Ivoire ; tout en ayant bien présent à l'esprit l'absolue nécessité de tester également ses nouveaux clones dans d'autres conditions éco-climatiques, telles l'Afrique, l'Amérique du Sud en attendant de pouvoir le faire à une échelle importante en Extrême-Orient. C'est dans ce sens que T. CHAPUSET, Agronome-Généticien, a pris la succession de S. LANGLOIS à la station IRA d'EKONA au Cameroun.

Une thèse d'un chercheur ivoirien à Bimbresso va prochainement contribuer à approfondir nos connaissances sur notre méthodologie de la sélection. Ceci, tout en étant d'ailleurs persuadé que cette méthodologie doit évoluer, notamment par l'utilisation de la multiplication par microbouturage des nouveaux hybrides afin d'éliminer l'influence du porte-greffe et donc de pouvoir travailler sur des clones entiers. Une telle politique implique la **nécessité absolue** pour les généticiens de disposer, à proximité des champs d'expérience, d'une cellule d'acclimation des microboutures clonales. Tout ceci n'est pas sans poser problème.

Un nouveau généticien IRCA va être engagé pour développer une cellule visant à la création de nouveaux clones dans une plantation industrielle du Matto-Grosso, au Brésil. Bien sûr, la politique de sélection visera l'obtention de clones résistants à la maladie Sud Américaine des Feuilles. Ceci, en liaison étroite avec le laboratoire de Phytopathologie de l'IRCA-CIRAD en Guyane dirigé par F. RIVANO. Ce dernier soutiendra d'ailleurs dans les mois qui viennent une thèse sur les facteurs impliqués dans la résistance horizontale de l'*Hevea* au *Microcyclus*. En appui arrière de ce thème de recherche d'importance fondamentale pour l'Hévéaculture sud-américaine, une thèse financée par le MRT sera présentée par Pascale BERGER dans quelques semaines à l'Université de Montpellier 2 sur les composés phénoliques foliaires et la résistance au *Microcyclus*. Une autre thèse confiée à Dominique GARCIA est également en route dans ce laboratoire sur financement CIRAD/MRT, elle vise à comprendre le mécanisme de défense opérationnel lors du rejet du pathogène par les clones résistants.

La caractérisation et l'utilisation du Germplasm 81 par les généticiens est toujours à la fois une richesse et une charge majeure pour l'IRCA. On espère une continuité dans le soutien de la CEE dans le cadre de STD-3.

Il sera question ici d'une percée remarquable du laboratoire IRCA au sein du BIOTROP. Elle concerne la mise au point définitive des techniques isozymiques d'identification clonale au pied des *Hevea*. Grâce à une thèse développée par P. BESSE en Biologie Moléculaire, la fiabilité de la méthode sera de 100 % et non plus de 95-98 %.

Concernant la **Phytopathologie** le point sera fait ici aujourd'hui sur les maladies de feuille de l'*Hevea*..

Une thèse menée à l'INRA-Versailles par Myriam LOUANCHI s'achève sur la démonstration d'un important polymorphisme entre les souches de **FOMES** de diverses origines géographiques. Le polyphorphisme a été détecté au niveau isoenzymatique et au niveau des ARN de transfert mais également quant à la variabilité du pouvoir pathogène.

Concernant l'**Encoche sèche**, il n'a pas été possible, **hélas**, jusqu'à présent, de dégager les moyens humains et financiers pour éclairer, par la Biologie Moléculaire, le fait de savoir si ce phénomène d'importance internationale majeure est ou non d'origine pathogène.

En **Culture in Vitro** la Société de Microbouturage de l'*Hevea* a maintenant 4 ans. La faisabilité biologique du procédé de microbouturage est démontrée... La SMH est entrée dans une phase de recherche et de production pré-industrielle visant, d'une part à améliorer le rendement du procédé, eu égard aux contraintes économiques, d'autre part à appliquer le procédé à 10 clones anciens et nouveaux, choisis en accord avec les Sociétés de Plantation. L'expérimentation sur champ à l'échelle pilote de ces nouveaux clones est prévue à raison de 5 à 10 ha par clone.

Pour ce faire, 3 stations d'acclimatation reçoivent des microboutures, de la SMH-Montpellier et de la Société DELBARD, elles sont maintenant opérationnelles : deux en Côte d'Ivoire à Bimbresso et Grand-Beriby-SOGB, une autre au GABON à MITZIC chez HEVEGAB.

A côté, ou après le microbouturage, la technique d'avenir de la micropropagation sera vraisemblablement l'embryogenèse somatique. Les avancées sont majeures : il en sera question aujourd'hui.

Si l'IRCA fait figure de leader dans le domaine de la culture *in vitro* de l'*Hevea* c'est par suite d'un effort persévérant consenti depuis plus de 10 ans et très particulièrement grâce aux connaissances acquises par les thésards successifs.

Ainsi, en 1991, deux thèses ont été soutenues à Montpellier sur le microbouturage l'une par Eric AUBOIRON, l'autre par Valérie HAFFNER.

En 1992, 3 thèses seront soutenues sur le développement de l'embryogenèse somatique. A l'IRCA-CIRAD BIOTROP par Hervé ETIENNE et par Pascal MONTORO. Une 3ème par Fatima HOUSTI à l'Université de Montpellier 2. Enfin, à l'Université également un financement CIFRE a permis à Edwige CAZAUX de travailler, pour l'avenir, sur la culture de protoplastes d'*Hevea*.

Il faut bien comprendre que les innovations importantes sont apportées par les recherches des thésards. Hélas sur les 6 thésards précités, au plus deux nous resteront... En 1993, notre dernière thésarde Y. PERRIN, terminera sa thèse sur le microbouturage dans le cadre de la SMH.

Il est impératif pour l'IRCA de décrocher de nouvelles bourses de thèses pour continuer à avancer.

En **Phytotechnie**, les recherches se développent sur l'étude du système racinaire de microboutures et d'*Hevea* greffés. Un thésard travaille à l'INRA-AVIGNON auprès du Dr.L. PAGES, notre conseiller en la matière, lequel intervient également dans des recherches de terrain menées au GABON sur les plantations d'HEVEGAB à MITZIC par Ph. THALER et en Côte d'Ivoire par A. LECONTE. Une réunion thématique du CSTC sur le thème des racines a eu lieu le 18 Septembre 1991. Une autre réunion thématique du CSTC s'est tenue le 7 Mars 1991 sur le thème des cultures vivrières sous *Hevea*, en collaboration avec le Pr. LEHNER de l'Université d'HOHENEIM en Allemagne. Elle s'est traduit par une demande de financement dans le cadre du STD 3 en collaboration entre le Gabon, la Côte d'Ivoire, l'Indonésie et l'Allemagne.

Rappelons une recherche financée par le Ministère de l'environnement dans le cadre d'un projet SOFT sur le suivi de la fertilité des sols sous *Heveas* sous la direction du Pr. LAVELLE enseignant l'Ecologie Appliquée à l'ENS.

Une nouvelle discipline a été introduite récemment à l'IRCA grâce à Anne GOUYON, Socio-Economiste qui va dans les mois à venir présenter sa thèse sur le développement des plantations villageoises dans le Sud-Sumatra.

Une conférence internationale sur le Caoutchouc Naturel, regroupant plusieurs centaines de personnes, s'est tenue en Inde en Février. Les chercheurs de l'IRCA y ont présenté des exposés de très bon niveau scientifique en Physiologie-Biochimie, Culture *in vitro* et Phytopathologie. A cette occasion le Dr. GUHA a présenté officiellement une nouvelle méthode de saignée **qui pourrait bien être révolutionnaire au plan économique**. Le Dr. JACOB vous en dira quelques mots tout à l'heure.

Dans le domaine de la **Technologie** et du 3ème Contrat UNIDO sur les **Caoutchoucs liquides**, les recherches conduites à l'Université du Maine et appliquées en Côte d'Ivoire ont permis de résoudre totalement le problème de la stabilité au stockage de ce caoutchouc liquide. Ainsi 8 T de caoutchouc liquide et liquide époxydé sont en cours de préparation sur 1991-1992 ainsi que 14 T de mélange caoutchouc liquide-caoutchouc normal de haute et basse masse moléculaire. Ces échantillons sont envoyés pour évaluation aux industriels intéressés.

On sait que la compréhension des facteurs influant sur la **variabilité** du caoutchouc est un sujet de recherche majeur aujourd'hui. C'est ainsi que se poursuit en

coopération entre la Côte d'Ivoire, l'IRAP et l'Université du Maine l'analyse de la variabilité de la masse moléculaire du caoutchouc par chromatographie.

Concernant les recherches de thèse, une a été présentée par une étudiante thaïlandaise à l'Université de Haute-Alsace sur l'étude du latex par transfert de phase du milieu aqueux en solvant organique.

A l'université du Maine une thèse CIRAD est lancée sur la recherche de nouveaux agents stimulants, générateurs d'éthylène mais à effet retard, afin de limiter le nombre des stimulations annuelles et donc d'en réduire les coûts.

Une mise au point sur les relations entre le séchage du caoutchouc et ses propriétés sera présentée tout à l'heure alors qu'une thèse sur le Séchage, la 3ème, est en développement sous la direction du Pr. BENET à l'Université de Montpellier.

Développement

L'IRCA comme tous les instituts du CIRAD, pardon je devrais dire les départements, vise à développer et à diversifier au maximum ses implantations géographiques et, en ce qui concerne l'IRCA, l'Extrême-Orient et l'Amérique du Sud sont particulièrement visés.

Ainsi, au **VIETNAM**, l'IRCA fournit depuis des années un soutien important à l'IRCV dans ses recherches d'adaptation des clones aux conditions éco-climatiques des Hauts-Plateaux.

Aux **Philippines** un projet de coopération financé par le Trésor français se met en place sur 2 axes différents : l'établissement d'un laboratoire de spécification du caoutchouc et le conseil aux philippins dans le domaine de la saignée et de la fertilisation.

En **Malaisie** se poursuit très favorablement l'implantation des systèmes de saignée à fréquence réduite stimulée, sur un projet Banque Mondiale, adapté aux plantations villageoises du FELCRA.

En **Thaïlande**, sur financement UNIDO et en collaboration avec l'IFOCA, se met en place un laboratoire de contrôle de la qualité de la matière première et du produit fini.

En **Indonésie** l'implantation du Diagnostic Latex à l'échelle de 39.000 h se devra d'être une réussite tandis que d'autres actions se poursuivent dans le cadre de l'usinage et du socio-économique.

*

J'en ai fini de ce tour d'horizon de la recherche IRCA, c'est maintenant le tour des présentations mais également, et j'allais dire surtout, des échanges et des discussions entre les différents partenaires aujourd'hui réunis.

TECHNOLOGIE

1 - EVOLUTION DE LA COOPERATION EN TECHNOLOGIE AU SEIN DE L'IRRDB. COMPTE-RENDU DE LA REUNION IRRDB AUX PHILIPPINES

H. de Livonnière

Depuis plus de 15 ans, au sein de l'IRRDB, des groupes de travail rassemblent les chercheurs intéressés par certaines disciplines comme : sélection, pathologie, physiologie ... En 1987, l'IRCA a proposé la création d'un groupe qui a pris le titre de "Technology and End Uses". Le coordinateur en est aujourd'hui le Dr Sekaran Nair.

Ses objectifs sont :

- coordination des activités et liaison entre les chercheurs des Instituts membres de l'IRRDB intéressés par le produit caoutchouc naturel,
- journées techniques de réflexion sur des actions communes à entreprendre,
- préparation de projets à soumettre à des bailleurs de fonds internationaux,
- centralisation des résultats intéressant un secteur d'activité particulier.

Son domaine d'activité couvre collecte et usinage du caoutchouc naturel sur plantation, contrôle de qualité et spécification, physique et chimie de la matière première, mise en oeuvre et manufacture d'articles finis, technoéconomie.

Deux réunions du groupe se sont tenues en 1989 à Penang (Malaisie) et en 1991 à Manille.

PROJETS INTERNATIONAUX

Projets réalisés, en cours, ou dont le financement est acquis

La liste ci-dessous met en évidence le souci de l'IRRDB de défense et de redéploiement du caoutchouc naturel, plus que de la connaissance de la matière première.

| Titre | Institut Responsable | Financement Etat |
|--|----------------------|------------------|
| Caoutchouc naturel, thermoplastique et en poudre | RRIM-MRPRA | UNIDO terminé |
| Caoutchouc liquide I | IRCA | UNIDO terminé |
| Caoutchouc liquide II | IRCA | UNIDO prolongé |
| Matériaux composites à base de NR | RRIM-MRPRA | UNIDO terminé |
| Rechapage, formulation à base de NR | RRIM-MRPRA | UNIDO terminé |
| Joints antisismiques à base de NR | MRPRA-IPARD Bogor | UNIDO en cours |
| Mélanges caoutchouc naturel/synthétique | MRPRA-RRIM | INRO prévu |
| Traitement des eaux résiduaires | RRIM | UNIDO prévu |

Projets futurs

En 1989, à la réunion du groupe à Penang en Malaisie, certains Instituts ont proposé des sujets d'intérêt général dont le niveau de priorité a ensuite été déterminé par vote au sein du groupe :

| Titre | Priorité | Proposé par |
|--|----------|---------------|
| Conditions d'usage et propriétés finales | 1 | IRCA |
| NR dans les joints hydrauliques | 2 | MRPRA |
| Toxicité: formulation exempte de nitrosamines | 3 | MRPRA |
| Antioxydants liés | 4 | IPARD Bogor |
| Etude des propriétés dynamiques du NR | 5 | RRIM |
| Utilisation du latex dans le béton | 6 | RRIM |
| Atelier de fabrication d'articles techniques | 7 | IPARD Medan |
| Laboratoire de contrôle des produits à base de latex | 8 | RRI Thaïlande |

A la suite de cette réunion et compte tenu de la priorité donnée à l'étude des conditions d'usage et de leur influence sur les propriétés finales du caoutchouc, la décision a été prise de centrer la réunion de Manille sur la qualité et la régularité du caoutchouc naturel "Quality and Consistency of Natural Rubber".

JOURNEE TECHNIQUE "QUALITY AND CONSISTENCY OF NATURAL RUBBER"
28 octobre 1991 Manille

Neuf communications ont été présentées en trois sessions :

- 1 - Evolution des schémas de spécification nationaux en vue d'améliorer la régularité des propriétés du caoutchouc

Intervenants :

- | | |
|-------------|---|
| * Malaisie | nouveau schéma SMR |
| * Chine | spécification du caoutchouc |
| * Indonésie | régularité du SIR (contribution de S.Palu/IRCA) |
| * Thaïlande | TTR préparation et qualité |

- 2 - Souhaits des consommateurs et nouvelles approches pour améliorer la régularité du caoutchouc

Intervenants :

- | | |
|---------|--|
| * MRPRA | souhaits des consommateurs |
| * IRCA | "régularité" un défi pour un produit agro-industriel |
| * RRIM | ISO 9000 |

- 3 - Crêpes et mélanges de caoutchouc

Intervenants :

- | | |
|-----------------|---|
| * RRI Sri Lanka | |
| * RIEC Sembawa | développement des mini-crêpeuses en milieu villageois |

Une quatrième session de discussions a conduit aux décisions suivantes :

1. Lignes d'usinage standard :

Afin de réduire la variabilité du caoutchouc TSR, plus importante que celle du RSS, proposer une ligne standard d'usinage "latex" et une ligne standard d'usinage "coagula des champs".

2. Compilation des résultats obtenus par les Instituts sur paramètres d'usinage et propriétés finales du caoutchouc. Cette compilation est nécessaire afin d'identifier les domaines nécessitant des investigations supplémentaires et de préparer un projet d'étude soigneusement ciblé, par exemple sur l'influence du séchage ou d'autres paramètres.

3. ISO 9000 :

Les normes de cette série se mettent activement en place dans l'industrie, en particulier du caoutchouc aussi bien au niveau des producteurs de caoutchouc synthétique que des manufacturiers.

Il importe que les Instituts de recherche, avec les producteurs de caoutchouc et les usiniers, comprennent les concepts et la philosophie des systèmes de qualité développés dans ces normes afin de les appliquer au cas particulier de la collecte et de l'usinage du caoutchouc naturel.

4. Teneur en acides gras dans le caoutchouc :

Il est demandé aux Instituts membres de l'IRRDB d'effectuer ce dosage et de communiquer au coordinateur les résultats d'éventuelles études mettant en évidence

l'importance de ce paramètre en relation avec les conditions d'incorporation des noirs de carbone.

5. Main-d'oeuvre et régularité du caoutchouc présenté en feuilles :

Le RRI de Thaïlande est chargé de réfléchir sur les moyens d'aller vers une plus grande automatisation de la production du caoutchouc présenté en feuilles afin de réduire le coût de la main-d'oeuvre. Il devra aussi identifier ceux des paramètres d'usinage qui conduisent à une variabilité plus grande pour ce type de caoutchouc.

6. Autres mesures pour améliorer la régularité du caoutchouc :

Diverses méthodes permettant d'apprécier la variabilité du caoutchouc en relation avec les propriétés de mise en oeuvre sont toujours à l'étude. La poursuite de ces travaux est recommandée, même si le groupe n'envisage pas d'action collective spécifique sur ce thème dans l'immédiat (travaux franco-indonésiens de développement de l'élasticimètre).

CONCLUSION

En complément des préoccupations de développement d'applications nouvelles du caoutchouc naturel, le groupe de Technologie de l'IRRDB va donc s'intéresser plus directement au problème "qualité et régularité" du caoutchouc naturel par la mise en place progressive d'un programme concernant :

- * l'étude des moyens à mettre en oeuvre pour obtenir un caoutchouc naturel plus régulier,
- * la plus grande maîtrise du process, en particulier par l'application des normes de la série ISO 9000.

La "Technologie" IRCA/CIRAD se distingue de celle des autres Instituts membres de l'IRRDB par sa position d'interface entre producteurs et consommateurs européens. Cette situation a été prise en compte dans la réorientation de la programmation mise en place à la suite de la réflexion menée depuis la réunion thématique de mars 1987 à l'occasion de la revue externe et de la préparation du plan à 5 ans. Elle répond aux préoccupations nouvelles du groupe de Technologie.

Discussion

M. Colineau

Le grade WF a disparu du schéma SMR. Ce grade WF a des utilisations dans le monde. Tous les utilisateurs et manufacturiers ne sont pas intéressés par des grades CV. Il faut faire attention de ne pas trop généraliser aujourd'hui la norme SMR qui supprime ce grade WF, connu commercialement et qui a ses qualités.

M. Rozenbaum

Dans le schéma SMR, le grade WF est supprimé, ce qui veut dire que les malais ne ratraient jamais une fabrication de L ?

M. de Livonnière

Bonne question. La production (en cas de loupé) doit alors passer en GP, il faut donc auparavant regranuler.

M. Remy

Est-ce que le RRIM a ou non abandonné ses méthodes d'homogénéisation et est passé en normes ISO seulement ? Les documents distribués comme le SMR Bulletin 91 ne sont pas très clairs.

M. de Livonnière

Dans le SMR Bulletin il n'est pas clairement précisé qu'on doit utiliser la méthode d'homogénéisation ISO et non la méthode d'homogénéisation malaise. Jusqu'à aujourd'hui la règle est : au stade des laboratoires agréés par le RRIM, quand il s'agit de faire des essais en routine, l'homogénéisation se fait suivant la méthode malaise (qui a pour avantage de pouvoir passer un plus grand nombre d'échantillons) mais quand il s'agit soit d'une contestation (claim) soit de certains lots, la méthode ISO est utilisée. La tendance est aujourd'hui à revenir à la méthode de standardisation ISO qui est universellement reconnue.

M. Rozenbaum

Y a-t-il des axes déterminés pour le respect de la norme ISO 9000?

M. de Livonnière

Il y a eu en Malaisie deux séminaires organisés avec les planteurs et les usiniers du caoutchouc : il n'y a pas aujourd'hui de règles pratiques d'utilisation de ces normes. Les proceedings donnent seulement les grandes lignes de la transposition de la norme en relation avec l'usinage du caoutchouc naturel de plantation mais sans instructions précises.

M. Rozenbaum

Il serait plus facile pour les producteurs de mettre en place quelques règles qui cadreraient cette norme ISO 9000 et qui donneraient tout de suite satisfaction aux manufacturiers.

M. de Livonnière

Je suggérerai d'organiser une réunion thématique centrée sur le thème : concept d'assurance qualité sur la base ISO 9000 au cours de laquelle vous seraient présentés les travaux malais pour autant qu'on les connaisse, afin de les discuter, entre groupe de plantations et éventuellement manufacturiers. Cette norme est déjà en place chez les transformateurs depuis longtemps. ISO 9000 a simplement codifié ce qui se faisait dans les usines.

M. Colineau

En Malaisie il y a une usine (fabrication de TSR) qui est très avancée dans la mise en place de la norme ISO 9000 et qui a fait un travail remarquable.

En ce qui concerne l'homogénéisation, la nouvelle norme SMR précise qu'en cas de litige, il faut utiliser l'homogénéisation de la norme ISO 2000, mais uniquement en cas de litige. En marche courante les Malais suivent la norme SMR et utilisent la norme ISO 2000 en cas de litige. Or cette dernière dans le cas du P0 donne systématiquement des P0 plus bas, ce qui en cas de litige réduit les risques de conflits. C'est dans cette optique que cette remarque est mise dans le nouveau schéma SMR. Personnellement je pense que la méthode d'homogénéisation de la norme SMR est supérieure à celle de la norme ISO 2000.

M. Rémy

Je crois que l'IFOCA a prévu une réunion de 2/3 jours en juin sur ce sujet. Cette norme ISO 2000 oblige le planteur ou l'usinier qui travaille avec un produit naturel à avoir la même rigueur que ceux qui produisent des produits industriels; il faut passer sous les fourches caudines de nos clients. Il y a cependant dans le caoutchouc des variations saisonnières considérables qui semblent plus importantes en Afrique qu'ailleurs. Il serait souhaitable que le département technologie de l'IRCA puisse faire la synthèse de tout ce qui a été fait depuis 20 ans de recherche de technologie sur les lieux de production.

2 - SECHAGE ET QUALITE

J. Sainte-Beuve

La science et la technologie du séchage ont pour but de produire un matériau ayant:

- * une humidité (teneur en eau) correspondant aux conditions du milieu ambiant d'utilisation,
- * la plus grande stabilité dimensionnelle possible,
- * toutes les qualités de la matière première d'origine,

Le séchage du caoutchouc naturel procède par évaporation de la phase aqueuse, ce qui constitue la plus grande partie de la consommation d'énergie. La méthode traditionnelle de circulation de l'air à température et humidité régulées, en surface du matériau, a l'inconvénient d'établir un gradient de température opposé au gradient d'humidité (Fig.1). Le caoutchouc naturel possède une très mauvaise conductivité thermique ($320 \cdot 10^{-8} \text{ cal} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{deg}^{-1}$) et est imperméable à l'eau, deux qualités au niveau du produit fini qui deviennent deux contraintes supplémentaires pour le producteur. En effet, si la vitesse de séchage est trop importante au début du cycle, ce qui correspond à un gradient important à l'intérieur du granulé, il se crée une couche imperméable à la surface du granulé qui empêche la migration de l'eau vers l'extérieur.

Pour les raisons ci-dessus, les conditions de séchage doivent être régulées pour que les gradients ne deviennent pas excessifs, ce qui limite la vitesse du transport de l'eau de l'intérieur vers la surface.

I) CINETIQUES DE SECHAGE

A/ Niveau pilote

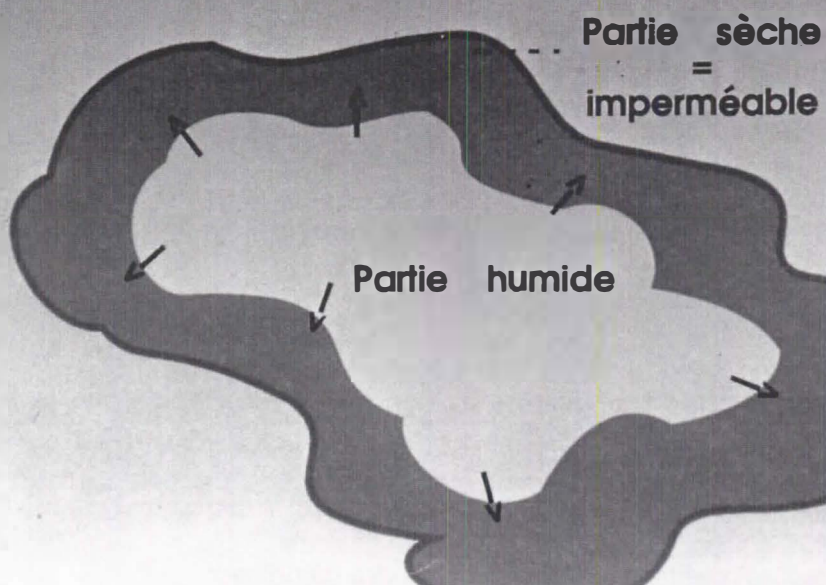
Des recherches ont été entreprises au niveau d'une petite boucle de séchage pour essayer d'affiner la connaissance des vitesses de séchage à l'intérieur même d'une couche de granules; les cinétiques globales étant déjà connues à ce jour (Fig.2).

On peut distinguer 3 phases de séchage (Fig.3):

- * l'air est saturé, la teneur en eau constante, les granules s'égouttent sous l'action de la synérèse ;
- * phase à vitesse constante : la surface des premiers granules (amont) est sèche : la température commence à s'élever ;
- * phase diffusionnelle : l'air devient très sec et la température s'élève lentement vers la température de consigne.

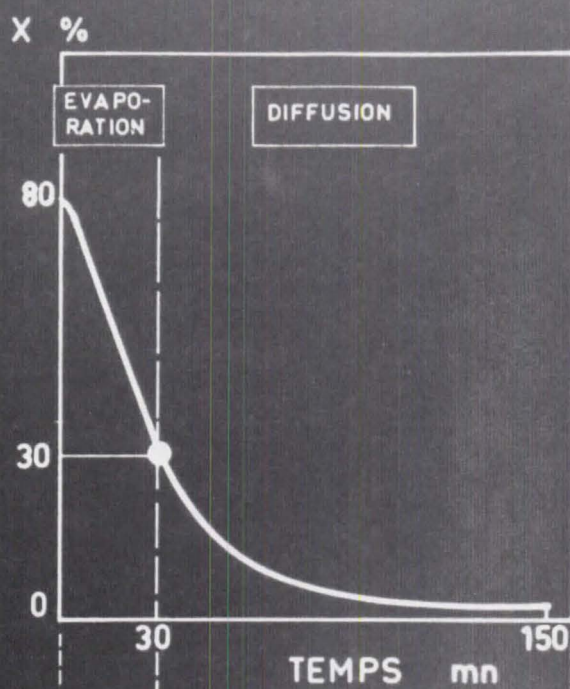
GRANULES DE CAOUTCHOUC EN COURS DE SECHAGE.

1



2

CINÉTIQUE DE SÉCHAGE DES GRANULÉS



| | | |
|-------------------|------|------|
| ÉNERGIE CONSOMMÉE | 30 % | 70 % |
| EAU ÉVAPORÉE | 60 % | 40 % |

Suivant leur position dans les paniers, les granulés auront des conditions de séchage très différentes, en particulier température et hygrométrie ce qui aura une influence sur la constance des caractéristiques technologiques.

D'autre part, les conditions thermodynamiques de l'air (en particulier la vitesse de l'air et les températures) doivent être adaptées suivant les trois phases; les mécanismes responsables de la migration de l'eau à l'intérieur des granulés n'étant pas de même nature en début et en fin de séchage.

B/ Niveau industriel

Les cinétiques de séchage vous ont été présentées jusqu'à maintenant par la variation de la teneur en eau en fonction du temps. On peut distinguer deux phases : l'évaporation et la diffusion.

Le calcul nécessite de connaître à chaque instant l'humidité résiduelle des granulés ce qui est irréaliste au niveau industriel. Voilà pourquoi nous avons choisi de présenter l'évolution de la vitesse de séchage par des écarts de température de l'air en amont et en aval des paniers.

On distingue moins bien alors les transitions entre les trois phases classiques de séchage constatées lors de séchage en boucle ouverte (sans recyclage d'air). Du fait du recyclage important de l'air humide (de 80 à 85 %), la phase de séchage à vitesse constante (zone 1) est ralentie. On peut distinguer une phase intermédiaire: zone 2 et une phase à vitesse diffusionnelle: zone 3 (Fig.4).

L'importance de l'écart des deux températures amont et aval donne une image de la vitesse d'évaporation. Plus l'écart est grand, plus le caoutchouc et l'eau qu'il contient absorbent de l'énergie qui contribue à l'évaporation. Donc, le séchage est d'autant plus rapide que l'écart est grand. Cette première illustration de la cinétique de séchage présente l'inconvénient de ne pas faire apparaître la chaleur perdue par l'air entre les points amont et aval des paniers (pertes par les parois des paniers), ce qui explique que, même en fin de séchage (où l'évaporation est négligeable), on constate toujours un écart de température de l'ordre de 5°C.

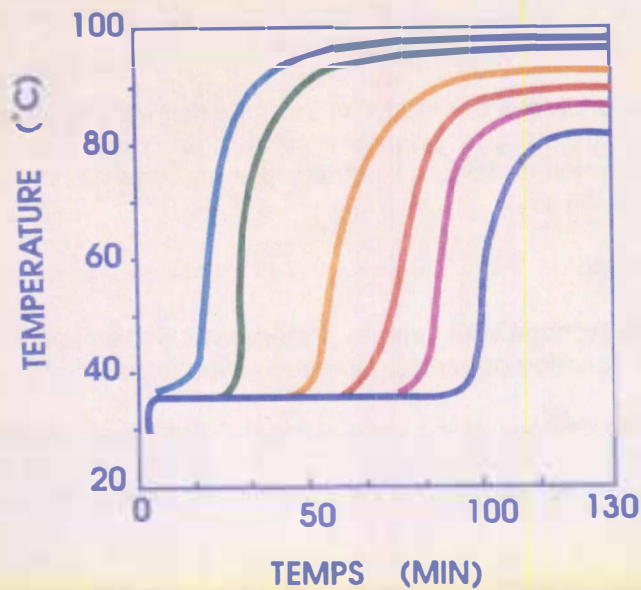
Une deuxième illustration de la cinétique de séchage consiste (Fig.5) à tracer la différence d'humidité absolue entre l'amont et l'aval du panier. On exprime ainsi directement la quantité d'eau "emportée" par l'air au passage de la couche de caoutchouc. L'humidité absolue en amont et en aval des paniers peut être calculée par la connaissance des températures (sèches et humides) amont et aval et en utilisant un logiciel approprié. Cette méthode est plus difficile à mettre en oeuvre de façon industrielle.

Au cours de cette étude sur un séchoir industriel nous nous sommes aussi aperçus du manque de reproductibilité des conditions de séchage:

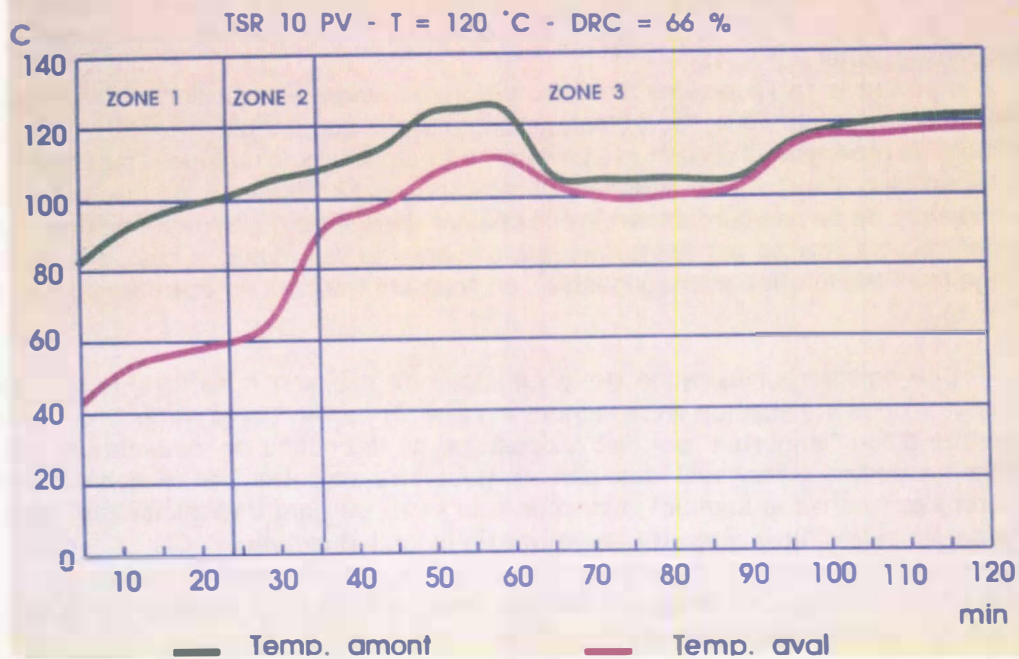
- * le profil de température est très tourmenté à cause d'une mauvaise adaptation de l'apport calorifique. On constate une insuffisance de la puissance de chauffe au milieu de la zone 3 (Fig.6 et 7) ;
- * pour une température de consigne constante de 115 °C, l'évolution n'est pas la même au cours de deux cycles consécutifs : de 86°C à 115°C pour l'un et de 90 °C à 122°C pour l'autre ;
- * au bout de 25 minutes, les températures amont sont les mêmes dans les deux cas, par contre les températures aval diffèrent de 10°C ;
- * au bout de 40 minutes, les températures amont et aval sont différentes.

Cette variabilité est due principalement aux différences d'humidité des granulés avant séchage ainsi qu'à leur structure. En effet, le DRC des granulés avant séchage peut varier entre 60 et 70 % et les conditions de coagulation et de maturation ne sont jamais les mêmes. Il nous paraît donc important d'adapter les conditions de séchage aux caractéristiques des granulés.

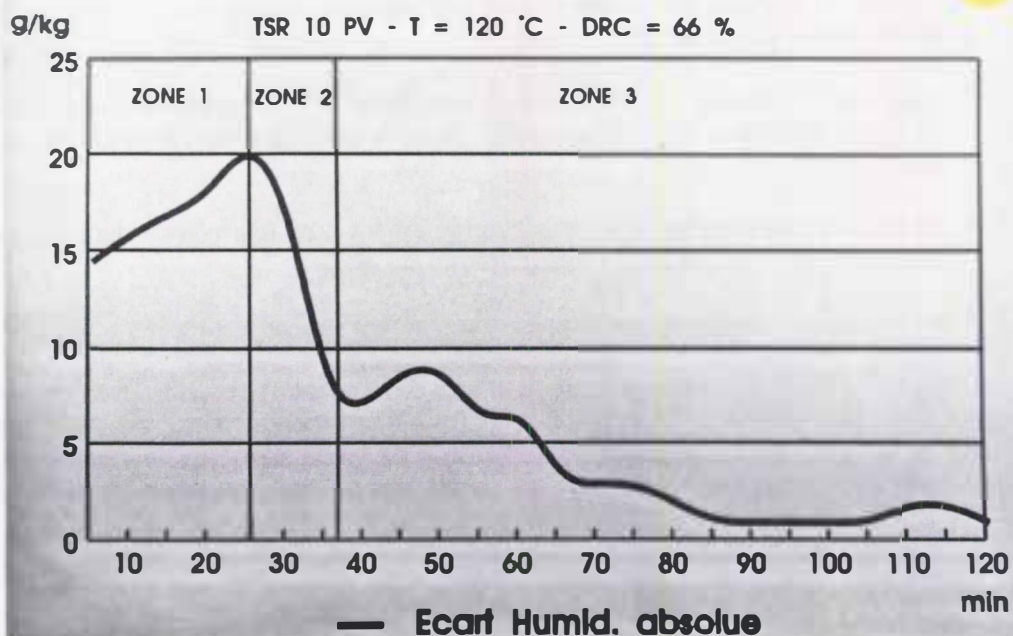
TEMPERATURE DES GRANULES A L'INTERIEUR D'UNE COUCHE EPAISSE. 3



Cinétique de sèchage 4



CINETIQUE DE SECHAGE 5



II. INFLUENCE DU SECHAGE SUR LA QUALITE DU PRODUIT FINI

Pour plus de clarté dans la suite de cet exposé, le mot qualité doit être pris comme synonyme de niveau de qualité et de constance de qualité; nous nous efforcerons de le préciser à chaque fois.

II.1 Hétérogénéité des caractéristiques au niveau d'une balle

Des balles de caoutchouc d'origines différentes (latex et fonds de tasses) et provenant de 2 séchoirs industriels ont été découpées en 48 morceaux et analysées 2 semaines environ après leur production (Fig. 8).

On constate une certaine homogénéité des caractéristiques sauf pour la Consistance Mooney et la teneur en azote; toutes les autres caractéristiques ayant des écarts types inférieurs à la précision des mesures.

La viscosité est supérieure au centre de la balle par rapport au coté ce qui montre bien l'influence du refroidissement. D'autre part, on note une hétérogénéité significative au niveau de la teneur en azote ce qui est surprenant; l'écart type étant de 0,1 pour une valeur moyenne de 0,48 (Fig.9).

II.2 Influence sur la qualité

Rappelons que le séchage constitue une des dernières étapes de la transformation du caoutchouc. Il est donc nécessaire de prendre en considération tous les traitements (en particulier chimique et mécanique) que le caoutchouc a subis depuis le moment où il est extrait de l'arbre.

II.2.1. Caoutchouc off latex

Lors du CSTC de 1990, M. Laigneau vous avait présenté les trois grandes familles de propriétés caractérisant des granulés de caoutchouc issus de latex. Nous allons reprendre cette même classification.

A/ grandeurs moléculaires (VM, Po, ML)

* Masse moléculaire (Fig.10)

La viscosité intrinsèque - mesurée au viscosimètre Hubbelholde - ne permet pas d'atteindre directement les masses moléculaires moyennes mais est en corrélation avec la masse moléculaire en poids ou en nombre. On voit donc l'effet de la température ; plus elle est élevée plus la viscosité intrinsèque est grande. Ces chiffres peuvent être comparés les uns aux autres mais pas en valeur absolue; les conditions d'expérimentation étant trop importantes.

* Consistance Mooney (Fig.11)

Le caoutchouc naturel séché à haute température possèdera une haute ou basse consistance Mooney suivant l'importance de deux réactions :

- réaction de pontage entre les chaînes moléculaires due à la combinaison des groupes aldéhydes sur les chaînes polyisopréniques avec les composés non caoutchouc ;
- réaction d'oxydation qui coupe les chaînes ou les liaisons entre les chaînes et qui entraîne une dégradation du caoutchouc naturel.

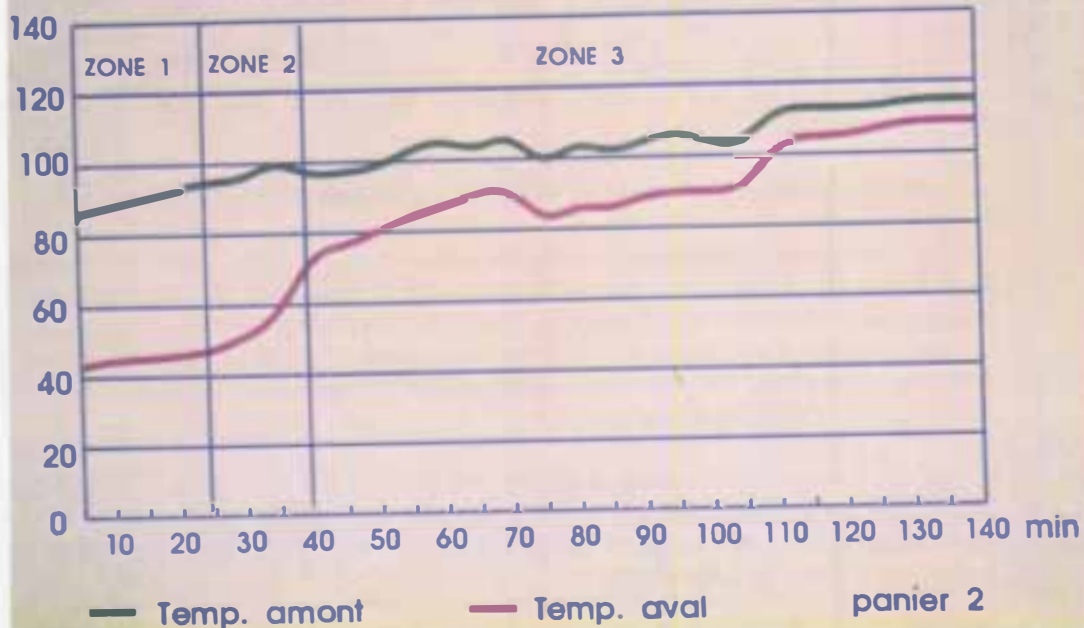
Toutefois, et quelle que soit son origine, un séchage prolongé à haute température provoquera toujours une diminution de la valeur de la consistance Mooney car les groupements aldéhydes sont en nombre limité.

Des expériences ont été réalisées à deux températures (de consigne) :

- 110 °C pendant 160 mn

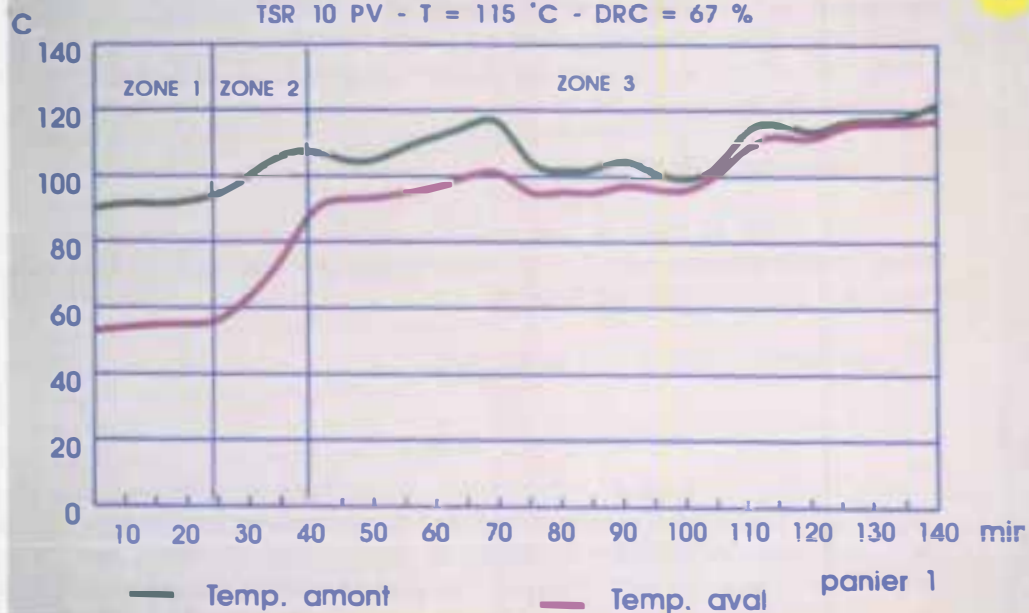
CINETIQUE DE SECHAGE

TSR 10 PV - T = 115 °C - DRC = 63 %

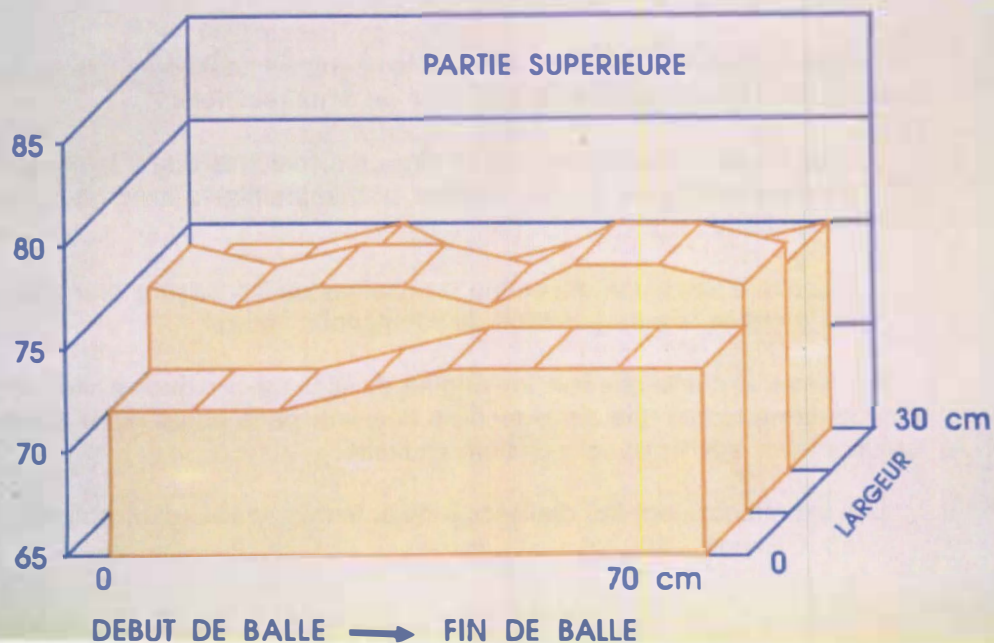


CINETIQUE DE SECHAGE

TSR 10 PV - T = 115 °C - DRC = 67 %



CONSISTANCE MOONEY D'UNE BALLE CAOUTCHOUC OFF LATEX



- . 120 °C pendant 120 mn

La consistance Mooney a été mesurée sur un coin de balle prélevé au hasard dans un chariot. On constate que les motifs séchés à haute température présentent une Consistance Mooney supérieure à ceux séchés à basse température. On observe le même phénomène pour les valeurs de la plasticité initiale.

Pour essayer de prévoir le comportement du caoutchouc au cours du stockage, nous avons réalisé un test type ASHT (Fig.12). Rappelons que ce test repose sur la différence de plasticité avant et après stockage dans des conditions accélérant les réactions de durcissement (60 °C pendant 24 heures en atmosphère desséchée). Les analyses ont montré que plus la température était basse, plus la valeur du test était haute. Ceci signifie que les différences observées sur la Consistance Mooney auront plutôt tendance à diminuer au cours du stockage. Cette relation, qui est d'ailleurs mentionnée dans plusieurs publications sans être expliquée, montre que la teneur en groupements aldéhydes est inversement proportionnelle à la valeur de la Consistance Mooney.

B/ vitesse de vulcanisation et densité pontale (module à 100 %, dureté, MHR)

On n'observe d'influence ni sur la vitesse de vulcanisation ni sur la densité pontale.

II.2.2. Caoutchouc de fonds de tasses : TSR 10

* Grandeurs moléculaires (Fig.13)

Des granulés prélevés au cours du process d'un même "lot" de fonds de tasses ont fait l'objet de conditions de séchages différentes sur deux séchoirs :

- . 115 °C pendant 140 minutes - un prélèvement par chariot ;
- . 100 °C pendant 180 minutes dans une atmosphère plus sèche.

On constate des écarts significatifs sur la valeur de la plasticité initiale et sur la Consistance Mooney pour un même type de séchage et pour les deux cités précédemment.

Le niveau des caractéristiques semble acceptable mais l'hétérogénéité semble importante pour le séchoir 2. Toutefois, cette variabilité peut provenir des traitements amont (chimiques ou mécaniques). Il serait souhaitable d'agir au niveau du macromélangeage et/ou au niveau du séchage pour niveler ces différences.

Sur un caoutchouc provenant de mélanges de qualités secondaires, les effets sont encore plus marqués au niveau de la consistance de la qualité (Fig.14).

* Densité pontale (Fig.15)

Contrairement au latex on observe des différences significatives sur le couple maximum entre les 2 types de séchoirs mais pas pour un même type de séchage.

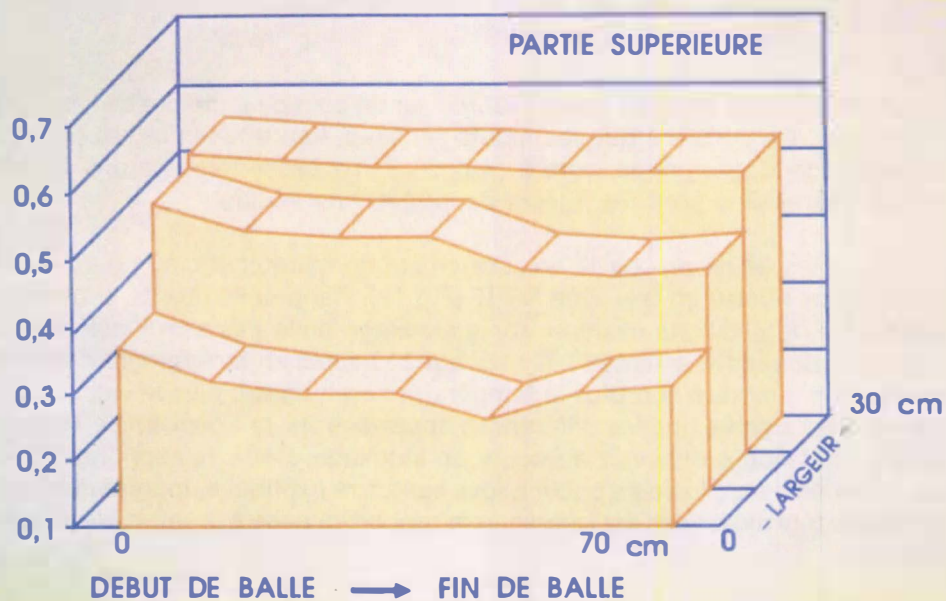
* PRI

L'indice de rétention de plasticité a été mesuré sur les échantillons prélevés comme décrit plus haut. Sur ce type de caoutchouc, l'influence de l'origine est très marquée et le traitement thermique accentue les effets au lieu de les niveler.

Sur des fonds de tasses ayant peu mûré, on constate un niveau de qualité acceptable, pas de différence entre les différents types de séchage et une certaine constance, mis à part le dernier chariot (Fig.16). Par contre, dès que les fonds de tasses ont mûré, le niveau de la qualité s'effondre, les écarts entre les différents types de séchoir sont plus marqués et la variabilité s'accroît pour un même séchage. C'est l'ensemble des traitements qu'il faudrait revoir et adapter les conditions thermodynamiques de l'air à la qualité des granulés. On peut remonter et niveler les différences grâce à un séchage approprié (Fig.17).

TENEUR EN AZOTE D'UNE BALLE CAOUTCHOUC OFF LATEX

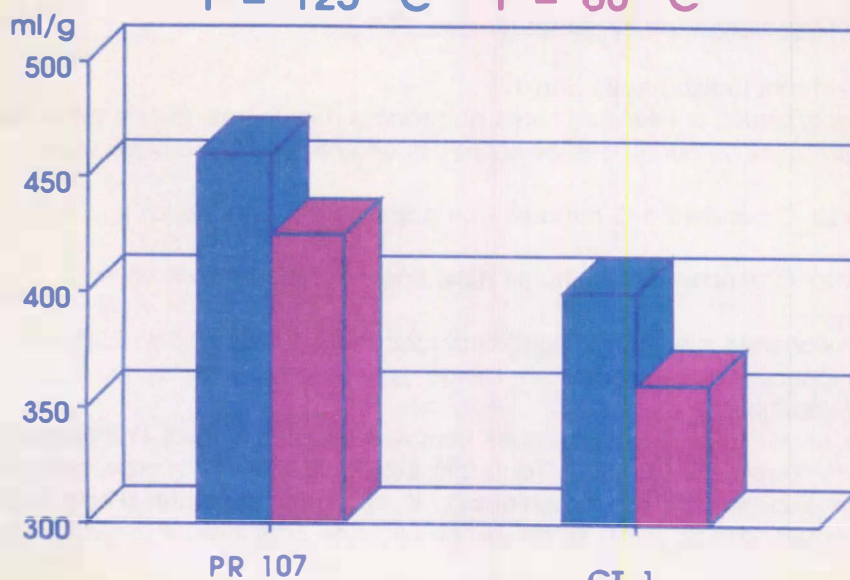
9



VISCOSITE INTRINSEQUE

10

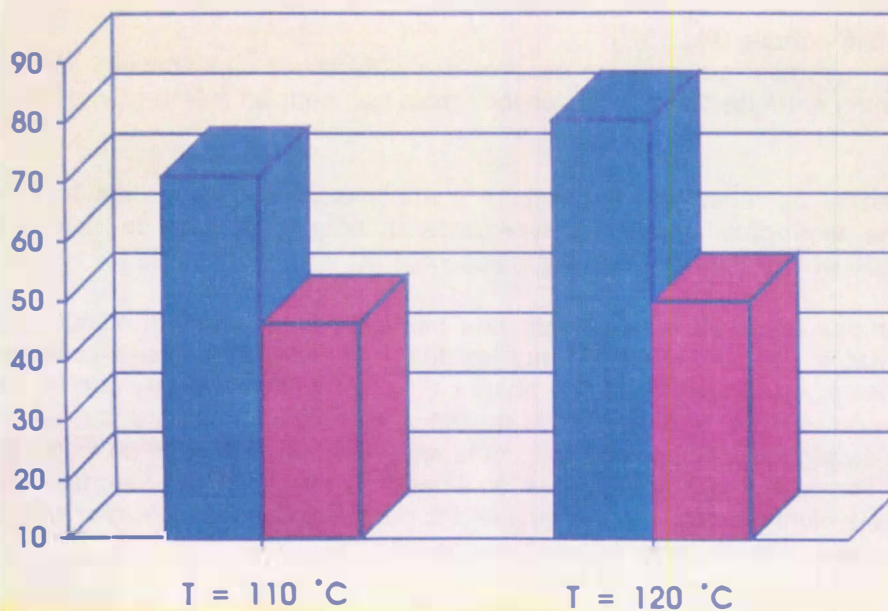
$T = 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ $T = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$



CONSISTANCE MOONEY ET Po

TSR 5

11



III. CONCLUSION

Le traitement thermique reste un facteur important, responsable de la variabilité. Pour répondre aux besoins des consommateurs et des producteurs en matière de qualité, c'est-à-dire pour pouvoir, entre autres, améliorer le niveau de certaines caractéristiques comme le PRI, par exemple, ainsi que la constance des propriétés, il est nécessaire d'agir sur les conditions thermodynamiques de l'air lors du séchage. Aujourd'hui nous savons adapter un cycle de séchage aux conditions hygrométriques des granulés en contrôlant et en maîtrisant la température de l'air asséchant. Il nous reste encore à mieux connaître l'influence de la structure et de la morphologie pour pouvoir valider le modèle mathématique en cours d'écriture.

On pourra alors adapter les conditions de séchage à tous les granulés d'origines différentes.

Discussion

M. Duris

Vous avez fait du séchage par convection, vous parlez de température, de durée de séchage; avez-vous joué sur la vitesse de l'air ? Avez-vous travaillé en lits fluidisés ?

M. Sainte-Beuve

Les essais en lits fluidisés ont été faits sur des séchoirs semi-industriels; ils montrent que c'est un séchage inadapté au caoutchouc, car le caoutchouc naturel colle. On n'arrive pas à séparer les granules les uns des autres; l'air a beaucoup de mal à passer autour de chaque granule, ça a plutôt été un échec !

On connaît aujourd'hui, grâce à des thèses, les grandes lois mathématiques qui régissent le séchage et en particulier le rôle de la vitesse de l'air. On sait par exemple qu'en phase diffusionnelle, dans la 3^{ème} zone, la vitesse de l'air a très peu d'importance, elle n'est pas un facteur prépondérant.

On est en train d'écrire actuellement un modèle mathématique pour essayer de faire varier ces paramètres. Tout le travail repose maintenant sur la morphologie et la structure des granules, car là on a l'influence saisonnière, mais aussi l'influence clonale et tous les traitements amont qui agissent sur la structure du caoutchouc. On est donc obligé d'aller sur le terrain pour faire des études plus fines.

M. Merceron

En ce qui concerne la circulation de l'air dans le séchoir, on a l'impression qu'il y a autant de séchoirs que de constructeurs de séchoirs. Vous dites que le séchage est régi par des lois mathématiques; je ne sais pas si les chinois fabricants de séchoir connaissent ces lois. J'aimerais savoir finalement quel type de ventilation adopter dans un séchoir suivant que l'on se trouve en zone très humide ou en zone plus sèche ? A-t-on une idée des vitesses de l'air en fonction de l'épaisseur des couches ?

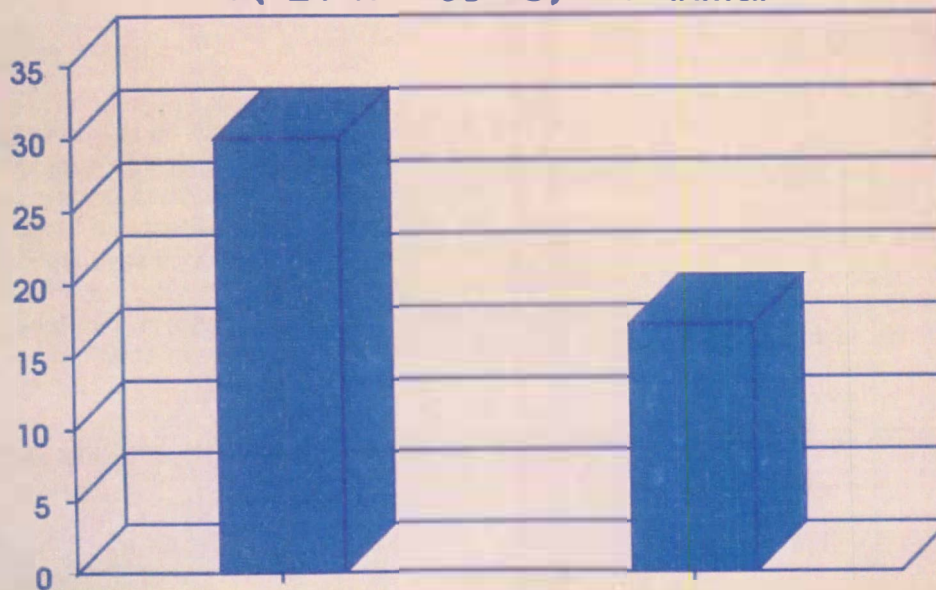
M. Sainte-Beuve

Aujourd'hui on sait qu'en phase d'évaporation les vitesses doivent être importantes et en phase de diffusion pratiquement nulles. Il faut que l'on affine, cette année, les problèmes de structure suivant que le granule est plus ou moins poreux et la couche plus ou moins épaisse. Avec l'Université Montpellier II, on est en train de développer un logiciel qui permette de faire varier tous ces paramètres, à savoir qu'en séchant une couche fine on peut simuler des couches épaisses, des inversions de flux, des structures différentes ... bientôt.

TEST ASHT

P(24 h - 60 °C) - P initial

12



T = 110 °C

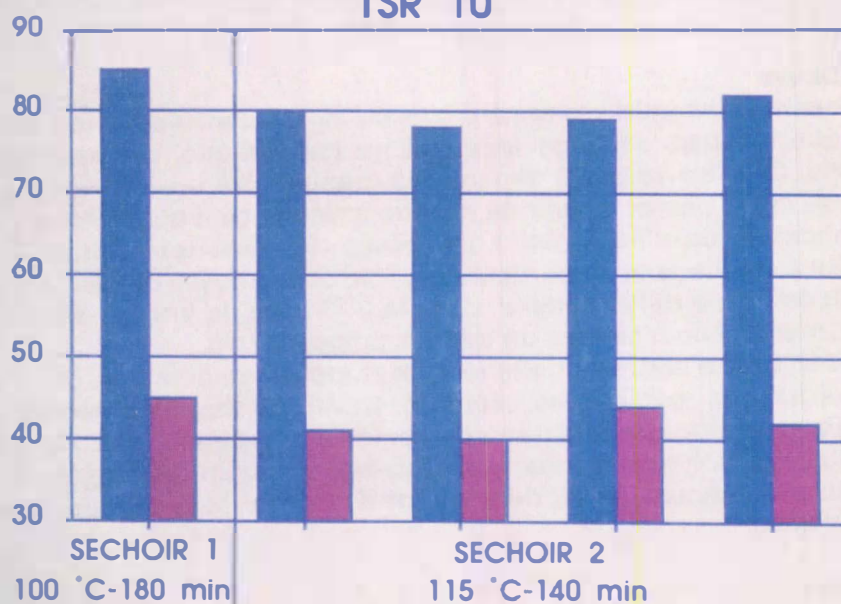
T = 120 °C

CONSISTANCE MOONEY

ET Po

TSR 10

13



SECHOIR 1

SECHOIR 2

100 °C - 180 min

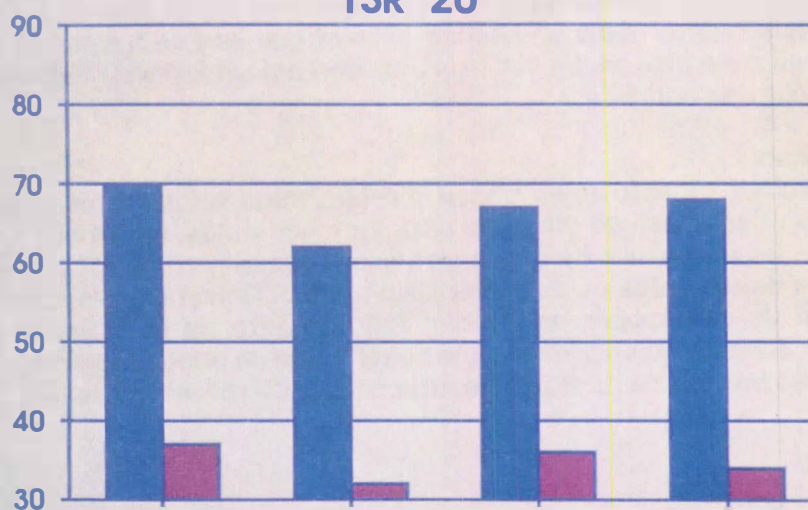
115 °C - 140 min

CONSISTANCE MOONEY

ET Po

TSR 20

14



SECHOIR 2

115 °C - 140 min

M. Doat

Vous avez indiqué que d'après vos expériences vous avez constaté l'influence négative des fonds de tasses sur le PRI. Nous, nous avons constaté, avec l'augmentation de la production des plantations villageoises, un effet positif de la maturité du caoutchouc de fonds de tasses sur le PRI. Avez-vous des résultats d'expériences d'Extrême-Orient là-dessus ?

M. Sainte-Beuve

Il faut toujours voir le couple maturité-séchage. On peut avoir un caoutchouc ayant mûri, de mauvaise qualité, avec un bon PRI si le séchage est approprié; l'inverse est aussi vrai. Dans le cas présenté, avec une dizaine de répétitions, c'était très net. Cela correspond à une période de l'année très précise. Il y a aussi des problèmes saisonniers. C'est difficile de généraliser, il faut prendre point par point et toujours regarder la structure.

M. Lalgneau

Les fonds de tasses villageois ne se comportent pas tout à fait comme des fonds de tasses classiques car ils comportent la totalité de l'écoulement; l'évolution de leur PRI est meilleure.

M. Merceron

Compte tenu des résultats que vous avez sur le séchage pouvez-vous déjà préconiser un séchoir ?

M. Sainte-Beuve

Aujourd'hui on sait améliorer et optimiser un séchoir simplement en mettant une petite boîte noire avec un logiciel approprié qui permette de bien séparer les phases d'évaporation et de diffusion de façon qu'il n'y ait pas de surchauffe qui dégrade le caoutchouc.

On n'en est pas encore à la deuxième étape qui est la définition d'un cahier des charges d'un séchoir industriel. On y tend grâce à une petite boucle et à un logiciel approprié que nous mettons au point et que nous allons essayer sur site.

Aujourd'hui on peut réguler et optimiser, mais on n'en est pas encore au cahier des charges.

M. Merceron

Actuellement tous les séchoirs à caoutchouc se ressemblent; ce sont les séchoirs à lits épais. Y a-t-il espoir de voir d'autres types de séchoirs ? Avant il y avait des séchoirs à lits moins épais, les séchoirs type Promoci. Ils ont disparu, on a l'impression que tout le monde travaille avec le même type de séchoir. N'y aurait-il pas, à votre avis, d'autres façons de sécher le caoutchouc ?

M. Sainte-Beuve

Tous les essais qui ont été réalisés en lits fluidisés, en conduction, en infra-rouge, en couche fine (tapis) ont échoué, principalement à cause du problème de collant. Des blocs se forment et on n'arrive plus à amener des calories à l'intérieur des granules. Comme on vous l'a dit le caoutchouc est un mauvais conducteur thermique.

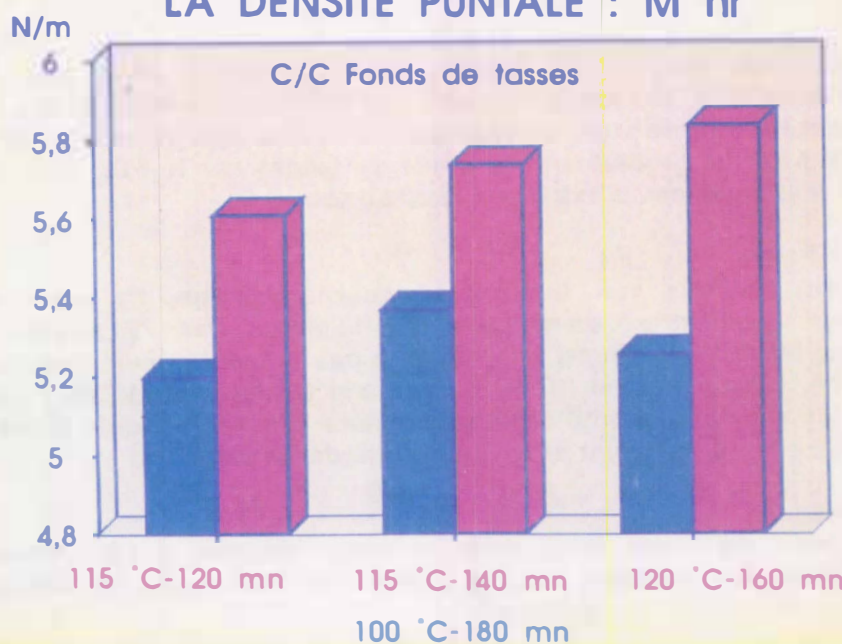
Il va falloir faire un essai avec le système micro-onde. A ce moment-là on n'aura plus le problème n°1 qui est le gradient d'humidité qui est opposé au gradient de température. On va chauffer par l'intérieur. Théoriquement cela semble logique, mais c'est énergiquement très vorace et il faut une technologie assez importante. On propose de lancer une étude d'orientation assez fondamentale là-dessus.

M. Challot

Le système de la déshydratation par vole osmotique qui ne fermerait pas les cellules a-t-il été essayé ?

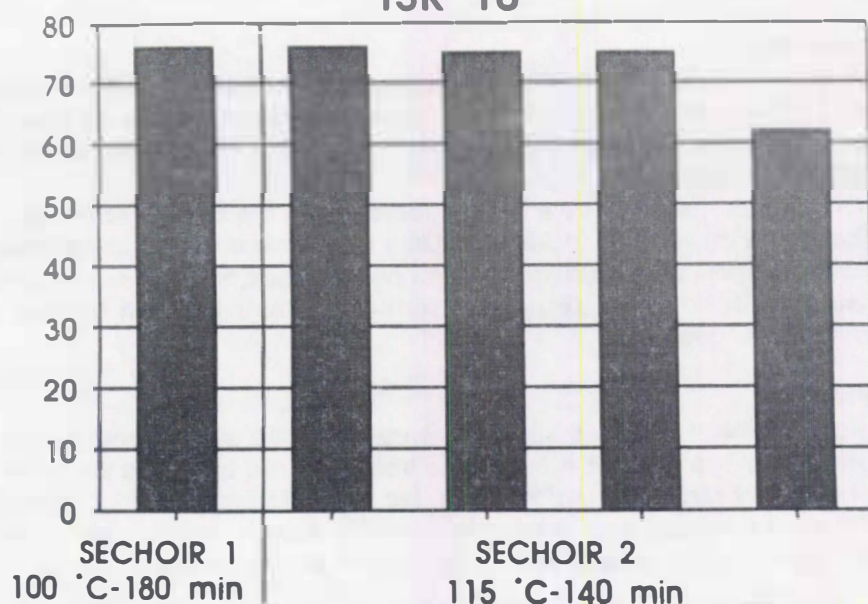
INFLUENCE DU TYPE DE SECHOIR SUR LA DENSITE PONTALE : M hr

15



INDICE DE RETENTION DE PLASTICITE TSR 10 D

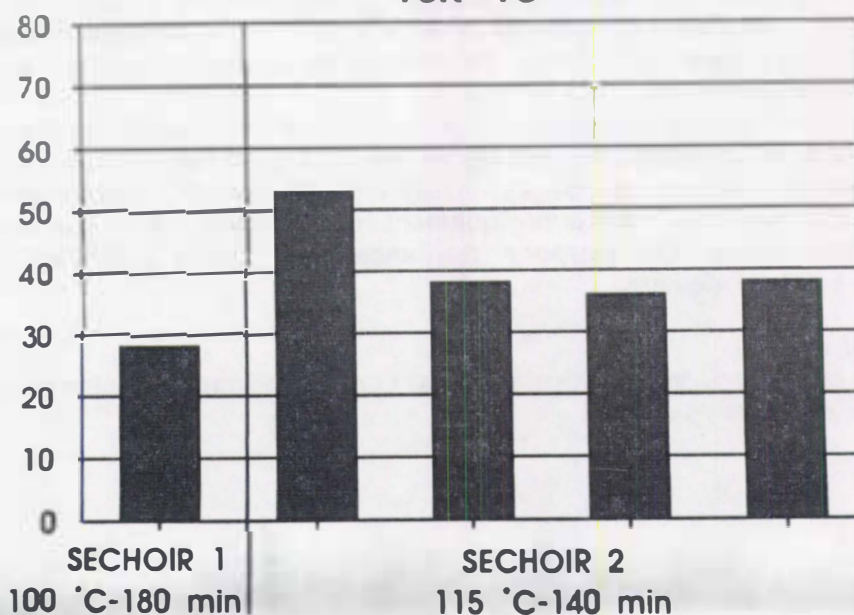
16



fonds de tasses frais

INDICE DE RETENTION DE PLASTICITE TSR 10

17



fonds de tasses maturés

M. Vincent

La solution micro-onde parait effectivement intéressante. Il y a en général des problèmes pratiques et énormément de précautions à prendre du point de vue sécurité.

M. Sainte-Beuve

On a juste fait un essai d'orientation et on a obtenu du pop corn. La pression interne était tellement forte qu'on a fait exploser les granulés qui se sont collés aux parois et qui ont fondu.

Pr. Benet

Nous avons effectivement en chantier un logiciel qui permet de simuler différentes conditions du flux d'air, température, humidité relative, vitesse de l'air; qui permet de simuler des retournements de panier et donne la consommation énergétique. Dans un an on pourra vous présenter ces travaux. Le point essentiel c'est la relation qualité-séchage, nous développons un programme dans le cadre d'un contrat MRT, où nous aborderons cet aspect de façon assez fondamentale; car pour bien étudier l'influence des différents facteurs sur la qualité il faut placer le caoutchouc dans des conditions bien précises et bien contrôlées. Il nous est impossible de faire ces études en France, il faut les faire sur les lieux de production, le caoutchouc qui nous arrive étant très souvent dénaturé.

M. Nenna

Est-ce que des granulés "schreddés" ont un comportement très différent de granulés obtenus au granulateur ?

M. Sainte-Beuve

On ne peut répondre maintenant, c'est l'objet de l'étude à réaliser sur le terrain.

3 - NOUVELLES PERSPECTIVES DANS LA MODIFICATION CHIMIQUE DU CAOUTCHOUC NATUREL

J.C. Brosse, D. Reyx, D. Derouet, Laboratoire de Chimie et Physicochimie Macromoléculaire (URA 509 du CNRS), Université du Maine, Le Mans
G. Boccaccio, Institut de Recherche Appliquée sur les Polymères, Le Mans

La bilan des dernières décennies fait ressortir que les recherches (fondamentale ou appliquée) relatives à la chimie du caoutchouc naturel (Fig.18) se répartissent sur trois grands thèmes ¹.

- * la chimie résultant de la réactivité de la fonction alcène,
- * la chimie de la vulcanisation,
- * la chimie du vieillissement, plus particulièrement à l'air.

Nous noterons que ces recherches ont été largement concurrencées par les travaux portant sur la synthèse et la chimie de produits de substitution lesquels peuvent être classés sous le terme générique de "caoutchoucs de synthèse".

Les défis (challenges) au cours de ce dernier quart de siècle ont essentiellement consisté en la mise au point de :

- * nouveaux caoutchoucs de synthèse,
- * nouveaux procédés pour leur vulcanisation, pour leur protection contre le vieillissement et pour leur modification chimique.

Il pourrait sembler aujourd'hui que tous ces différents défis ont été relevés :

- * la diversité des caoutchoucs de synthèse ou naturels disponibles sur le marché permet de répondre à la demande des utilisateurs et il ne semble pas raisonnable aujourd'hui d'envisager (de rechercher) un produit de remplacement miracle résultant de la mise au point d'un nouveau monomère ou d'un nouveau procédé de polymérisation,
- * le contrôle de la vulcanisation s'appuyant sur une connaissance de plus en plus précise de ses mécanismes et sur l'établissement de relations procédure/propriétés ne semble pas non plus pouvoir être amélioré de façon significative,
- * les mécanismes du vieillissement par réaction avec l'oxygène ou avec l'ozone de l'air, ainsi que les procédures de protection afférentes (sélection d'additifs adaptés aux conditions d'utilisation), semblent également être suffisamment bien appréhendés pour répondre aux contraintes actuelles d'utilisation (toute modification dans les conditions d'utilisation - i.e. température sous capot - nécessitant cependant un nouvel examen de la situation).

¹ "Rubber Chemistry", J.A. Brydson, Applied Science Publishers, London 1978; "Natural Rubber Science and technology", A.D. Roberts, Oxford Science Publications, 1988

Schéma 18: Principales étapes dans les procédures de modification du caoutchouc naturel : réactions en phase solide (colonne de gauche), réactions en solution (colonne centrale) et réactions en phase latex (colonne de droite)

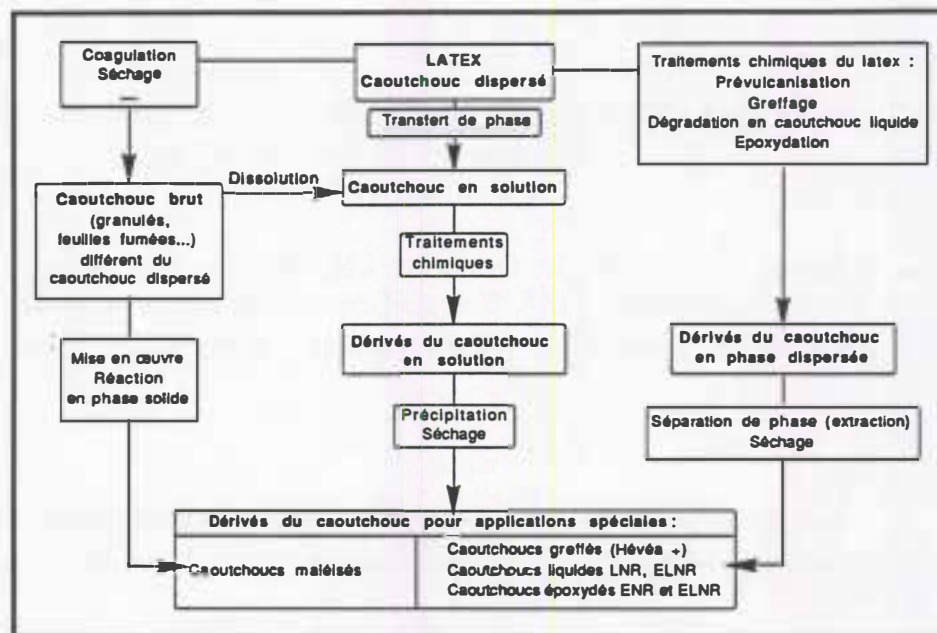
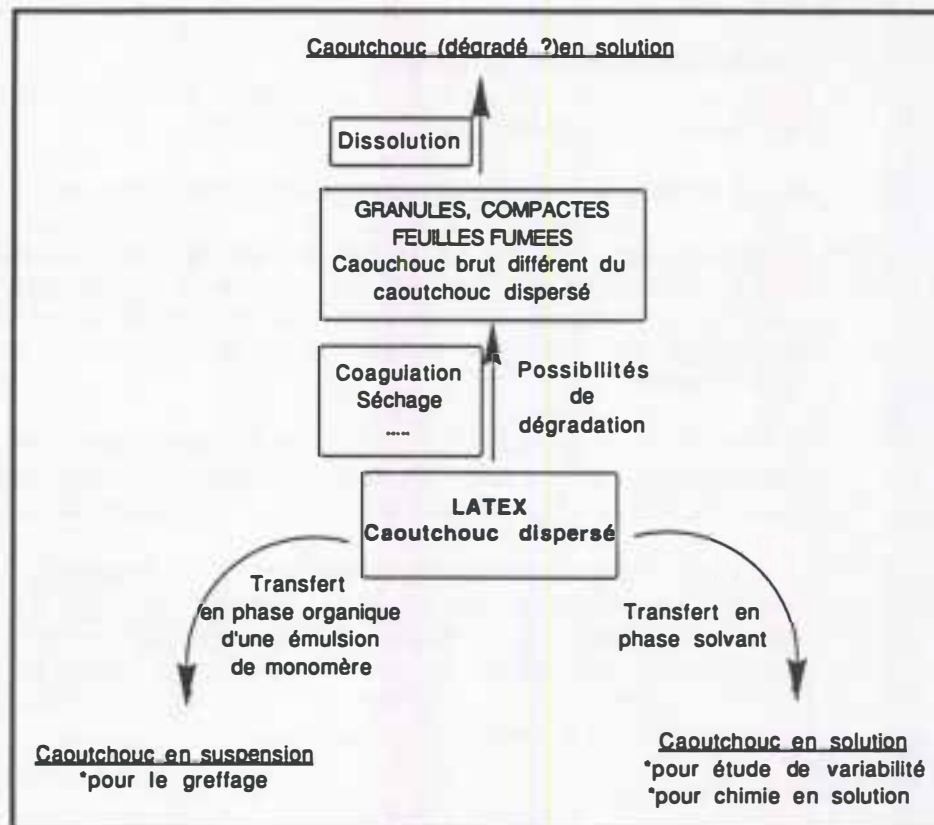


Schéma 19: Procédures d'obtention du caoutchouc en solution : Importance du caractère non destructif de la procédure pour les études de variabilité



Toutefois, les perspectives en matière de modification chimique du caoutchouc naturel sont loin d'être épuisées. Des bouleversements profonds sont à prévoir au niveau des procédures et principes actuellement utilisés. Des développements riches de promesses sont en effet à attendre du fait de l'amélioration des connaissances des milieux dispersés ² (milieux biphasés liquide-liquide, solide-solide...). Ils concernent notamment :

- * l'identification des caoutchoucs (notamment de la phase caoutchouc du latex) et de leurs dérivés par des méthodes non destructives,
- * la modification des caoutchoucs (notamment par la conduite de réactions en milieux biphasés : latex ou mélanges solides).

Ces nouveaux axes de recherche pourront s'appuyer, en outre, sur les nouvelles potentialités de la chimie organique et sur l'amélioration des performances des techniques d'identification.

Possibilités offertes par les procédures de transfert direct du caoutchouc en phase organique.

L'amélioration des connaissances sur les systèmes dispersés ² rend désormais envisageable la solubilisation directe de la phase caoutchouc du latex dans un solvant organique en évitant les étapes de coagulation et/ou de séchage (Fig 19 et 20) dont les conditions de mise en oeuvre peuvent provoquer une transformation (dégradation) plus ou moins importante du produit naturel.

Cette possibilité, à laquelle il convient d'associer les développements des techniques d'identification, notamment au niveau de la résolution (spectroscopies et chromatographies), devrait permettre au cours des prochaines années une identification améliorée du caoutchouc naturel et une appréciation plus précise de la variabilité des produits selon leur origine végétale ou géographique.

Par ailleurs ce transfert du caoutchouc de la phase latex vers une phase organique, en limitant les opérations nécessaires pour l'application des procédures de modification chimique en solution, laisse escompter une diminution des prix de revient des dérivés accessibles par cette voie.

Possibilités offertes par les acquis en synthèse organique

La chimie du caoutchouc en solution ³ a fait l'objet de nombreux travaux qui ont conduit à l'élaboration de produits à haute valeur ajoutée pouvant résulter du contrôle de plusieurs réactions successives (des exemples de modification chimique au deuxième ou troisième degrés seront présentés) (Fig 21, 22 et 23).

Les connaissances en synthèse organique (nouvelles réactions, nouveaux réactifs sélectifs et spécifiques) ont progressé de façon telle qu'aucune molécule cible de squelette

² G. Riess, P. Tangboriboonrat, Thèse de Doctorat, Université de Haute Alsace, 1991.

³ Synthèse d'élastomères photoréticulables par modification chimique du caoutchouc naturel liquide, P. Phinyocheep, Thèse de doctorat, Université du Maine, 1990, D. Derouet, P. Phinyocheep, J.C. Brosse, G. Boccaccio, *Eur. Polym. J.* 26(12), 1301-11(1990); *Eur. Polym. J.* 26(12), 1313-20(1990); D. Derouet, P. Phinyocheep, G. Boccaccio, J.C. Brosse, *J. Nat. Rubb. Res.* 6(1), 39-54(1991) ; D. Derouet, J.C. Brosse, L.M.K. Tillekeratne, *J. Nat. Rubb. Res.* 5(4), 296-300(1990).

Modification chimique au deuxième degré de polyisoprènes-1,4. Application à la fixation d'un stimulateur de production du latex par l'hévéa: l'acide naphthalène acétique, P. Klinpituksa, Thèse de Doctorat, Université du Maine, 1990 ; J.C. Brosse, P. Klinpituksa, J.C. Soutif, *Makromol. Chem.*, 193, 315-321(1992)

Modification chimique des polydiènes par les composés du type CX₃Z. D. Derouet, J.C. Brosse, *Eur. Polym. J.* 20(7), 671-677(1984); *Eur. Polym. J.* 21(12), 1053-1060(1985); *Eur. Polym. J.* 26(7), 739-752(1990); *Eur. Polym. J.* 27(10), 1125-1140(1991)

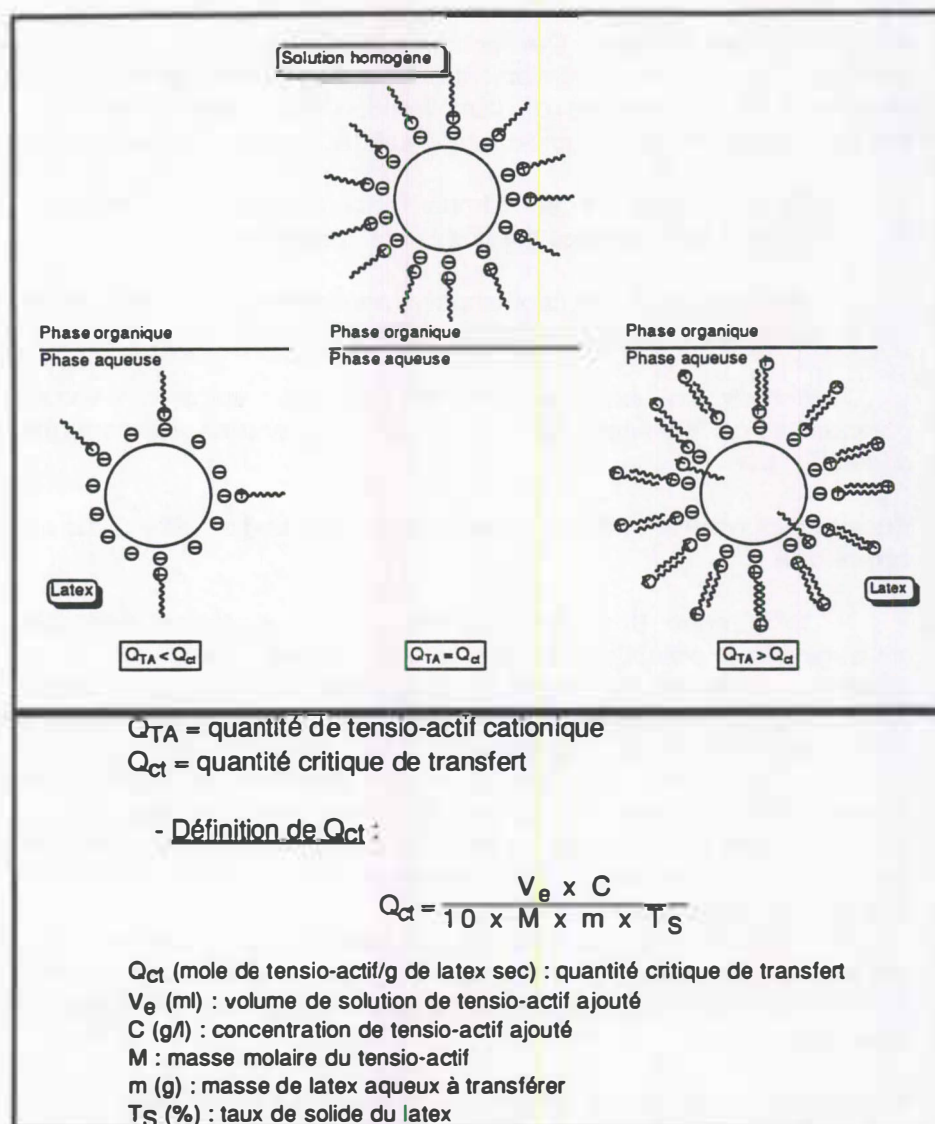
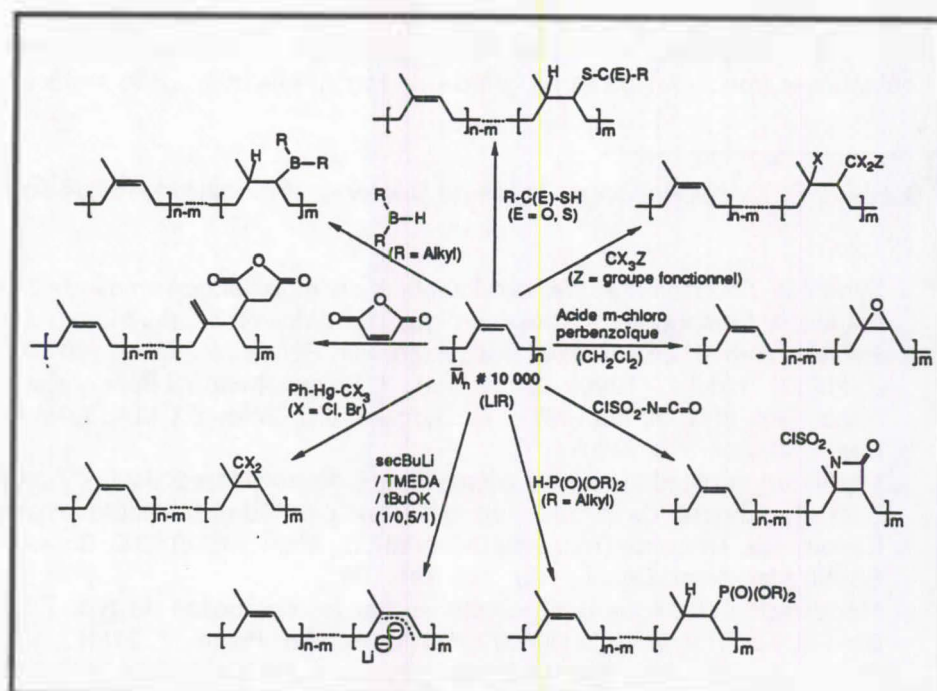


Schéma 21: Exemples de modifications chimiques au premier degré des poly(1,4-isoprène)s.



et de fonctionnalités les plus complexes ne semble plus inaccessible. Il doit en être de même pour les dérivés du caoutchouc naturel qui sont encore loin d'avoir tous été décrits. Au niveau de la synthèse, le chimiste attend qu'on lui définisse (sans contrainte préalable autre que la recherche d'une propriété améliorée) des objectifs de propriétés à partir desquels pourront être définies des cibles structurales de dérivés du caoutchouc. Son travail sera alors de trouver les voies de synthèse les plus économiques, en s'appuyant sur des études bibliographiques élargies à la chimie organique.

Ainsi, contrairement à ce qui pourrait être conclu en première analyse, la modification chimique du caoutchouc a sa place dans l'approche de l'ajustement d'un produit aux propriétés préalablement définies par l'élaboration de matériaux multicomposants (tels les mélanges de caoutchouc - élastomères de synthèse ou thermoplastiques ¹. Toutefois, le développement de ce principe se heurte fréquemment à des problèmes de compatibilisation (Fig. 24). Parmi les solutions prometteuses, on note :

- association d'un polymère avec le caoutchouc par co-vulcanisation ⁴ ou interpénétration de réseaux;
- compatibilisation d'additifs par fixation sur un caoutchouc liquide support ⁵;
- association du caoutchouc avec des charges -i.e. noirs de carbone, silices- ayant préalablement subi un traitement de surface;
- compatibilisation par modification chimique d'un des deux polymères ⁶, pour lesquelles des études complémentaires, et plus particulièrement fondamentales, s'avèrent nécessaires, la compatibilisation de deux polymères par adjonction d'une tierce molécule -ou macromolécule- amphiphile jouant le rôle de compatibilisant implique la synthèse préalable de cet agent.

L'incorporation de caoutchouc naturel époxydé à des mélanges comportant du caoutchouc naturel a donné lieu à des exemples positifs ⁷. L'objectif de la compatibilisation avec d'autres polymères de nature et propriétés différentes devrait conduire à l'élaboration de nouveaux dérivés fonctionnels du caoutchouc naturel. Il apparaît en effet opportun de penser à des dérivés fonctionnalisés amphiphiles dans lesquels les structures fonctionnelles s'associeraient au constituant non caoutchouc et les structures polyisoprène résiduelles au caoutchouc lui-même. Le comportement de mélanges ternaires ⁸ de ce type fait l'objet d'études théoriques dans lesquelles les copolymères tant séquencés que statistiques sont considérés comme macromolécules amphiphiles modifiant les diagrammes de phase du mélange binaire auquel ils sont incorporés. De nouveaux travaux de recherche pourront donc, à ce titre (objectif de propriété amphiphile), être engagés.

D'autres objectifs de propriétés pourraient également être considérés mais il semble que, dans tous les cas, la possibilité de réaliser les réactions en milieux dispersés dans l'eau (en

⁴ D.S. Campbell, D.J. Elliot, M.A. Wheelans, *Natural Rubber Technology*, 9, 2, 21 (1978)

⁵ Synthesis of macromolecular antioxydants by reaction of aromatic amines with epoxidized polyisoprene. 3-Reaction of 4-anilinoaniline with epoxidized 1,4-polyisoprene. S. Jayawardena, D. Reyx, D. Durand, C.P. Pinazzi, *Makromol. Chem.*, 185, 2089-2097(1984)

⁶ Alors que le caoutchouc n'est pas compatible avec les polymères chlorés (PVC, Hypalon, polyéthylène chloré, polychloroprène), son dérivé époxydé (ENR 50) est miscible avec ces polymères ou leurs mélanges. S. Hukhopadhyay, T.K. Chaki, S.K. De, *J. Polym. Sci.*, 28, 1, 25 (1990); J. B. Nagode, C.H. Roland, *Polymer*, 32, 3, 505 (1991)

⁷ Ainsi, l'ajout d'ENR 50 aux mélanges PVC/Polyéthylène chloré ou Nitrile carboxylique/Polychloroprène autorise leur miscibilité, S.N. Koklas, D.D. Sotoropoulou, J.K. Kallitsis, W.K. Kalfoglou, *Polymer*, 32, 1, 66, (1991); R. Alex, P.P. De, S.K. De, *Polymer Comm.*, 31, 366 (1990)

⁸ L. Monnerie, *L'actualité chimique*, p.125 (1991)

Schéma 22: Exemple de modification chimique au troisième degré. Synthèse d'élastomères photoréticulables par modification chimique du caoutchouc naturel.

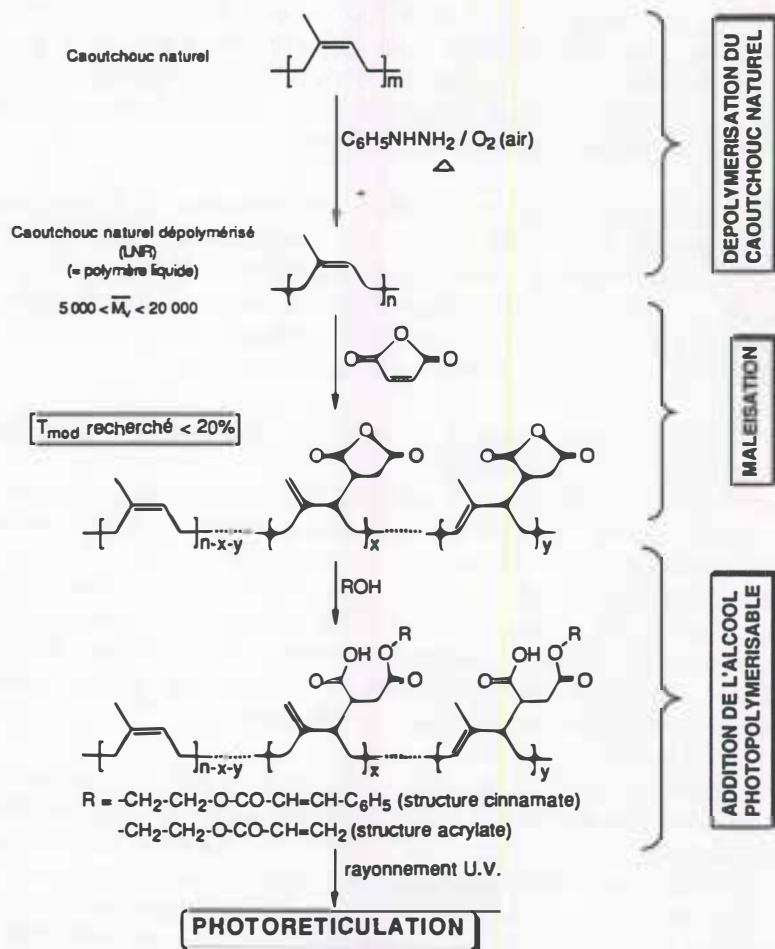
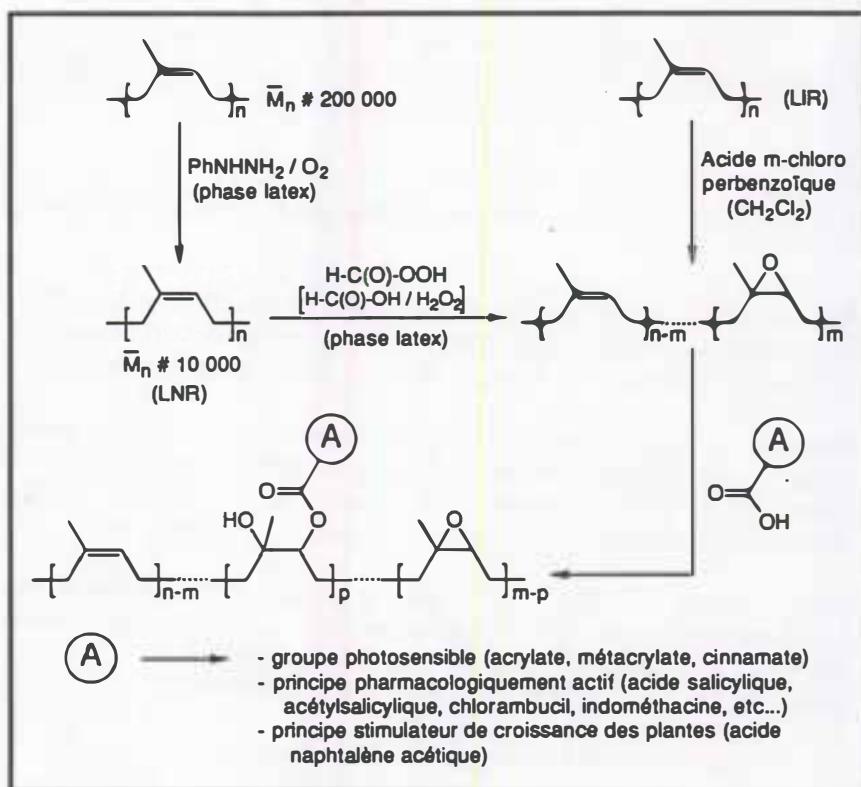


Schéma 23: Exemples de modifications chimiques au second degré. Addition de molécules actives à fonctions acide carboxylique sur les groupes oxirane des poly(1,4-isoprène)s.



phase latex) soit désormais à prendre en considération (en chimie organique, la "chimie dans l'eau" fait désormais partie des défis de la fin de ce siècle).

Possibilités offertes par les procédures de traitement direct du caoutchouc en milieux dispersés : applications en synthèse par modification chimique du caoutchouc

Par rapport à la réalisation de la même réaction en solution, la conduite d'une réaction chimique en phase latex constitue une simplification dont l'intérêt, notamment du point de vue économique est évident (la dégradation contrôlée qui conduit au caoutchouc liquide LNR⁹ et l'époxydation qui conduit aux dérivés époxydés ENR¹⁰, éventuellement liquides ELNR¹¹, seront présentés à titre d'exemples significatifs) (Fig.25 et 26). La modification du caoutchouc en phase solide (en cours de mise en oeuvre) a également fait l'objet de quelques expériences (maléisation¹²) dont la maîtrise demande toutefois à être améliorée.

Sur ces points, les développements pourront s'appuyer également sur les nouvelles connaissances physicochimiques des milieux dispersés (émulsion, dispersions solide-solide, mélanges de polymères) qui permettent d'escompter une meilleure compréhension et par conséquent une meilleure maîtrise des réactions, tant en "phase latex" qu'en phase solide. Il convient par ailleurs de considérer les résultats obtenus en chimie organique (réactions en systèmes biphasiques par utilisation de catalyseurs de transfert de phase) et en chimie macromoléculaire (polymérisation en émulsion par utilisation d'agents de transfert de phase).

Discussion

Mme Katzanevas

Est-ce que le greffage anti-oxydant sur une chaîne de caoutchouc naturel a déjà été fait ? Les essais sur le caoutchouc liquide existent et les nitriles commerciaux stabilisés (avec des stabilisants internes) ont été faits et ils n'ont pas donné satisfaction, compte tenu, en plus, du prix de ce matériau.

Pr. Brosse

Il n'y a pas eu de développement industriel mais cette chimie a été réalisée chez nous par le Docteur Santina de Ierardena (?) d'origine Sri lankaise et les tests d'antioxydabilité des matériaux avaient été réalisés à l'époque chez Keller (?)

Mme Katzanevas

Et ils étaient positifs ? car à la suite de la venue sur le marché des nitriles avec stabilisants internes on pensait que le fait de greffer empêchait la mobilité de l'antioxygène et ainsi limitait son pouvoir.

⁹ Dégradation du caoutchouc par oxydation contrôlée, études sur molécules modèle. E. de Barros Lobo Filho, D. Reyx, I. Campistron, P.F. Casals, *Makromol. Chem.*, 186, 2037-2047(1985).

Dégradation du caoutchouc par oxydation contrôlée. Action du couple phénylhydrazine/oxygène sur des cétones modèles des extrémités de chaînes. D. Reyx, I. Campistron, A. El Hamdaoui, Royal Society of Chemistry (Manuscrit déposé le 22/12/91) ; A. El Hamdaoui, Thèse de Doctorat, Université du Maine, 1991 ; G. Boccaccio, H. de Livonnière, *L'actualité Chimique*, p. 100 (1991)

¹⁰ I.R. Gelling, J.F. Smith, *Proceedings of the International Rubber Conference*, Venise, 1979

¹¹ Travaux IFC-IRAP-IRCA-Université du Maine

¹² C. Pinazzi, R. Pautrat, J.C. Danjard, *Rev. Gén. Caoutchouc et Plastiques*, 37, 663 (1960)

- OBJECTIF TECHNOLOGIQUE DES ASSOCIATIONS :

Satisfaire des conditions d'utilisation du vulcanisat de plus en plus agressives : environnement (température, huiles, essences, produits chimiques...) et sollicitations mécaniques.

- RESPECT D'UN BON COMPROMIS PRIX/PERFORMANCES :

- Mélanges d'élastomères :
 - d'usage général
 - spéciaux
 - très spéciaux
- Mélanges d'élastomères/plastiques

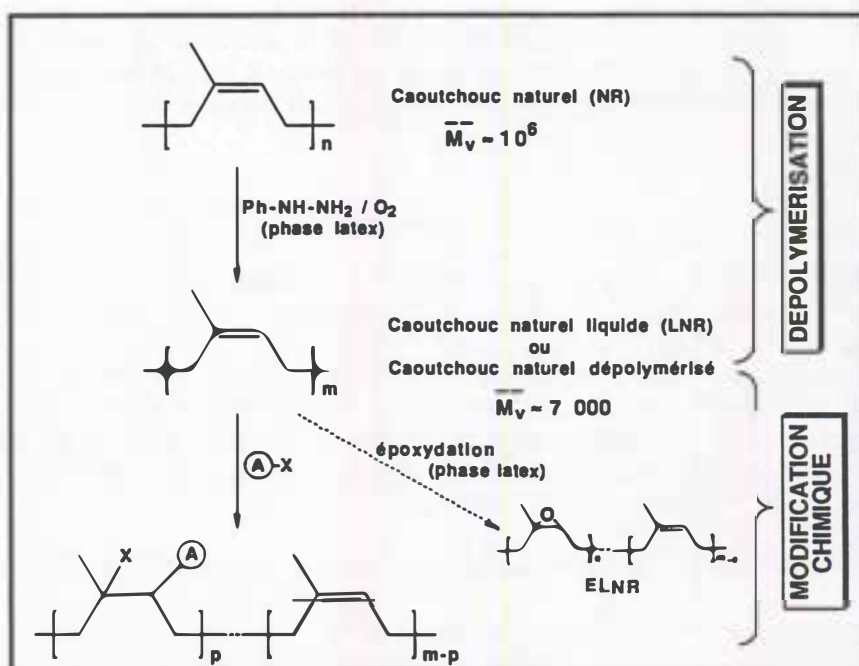
- RELATIONS PROPRIETES/COMPATIBILITE :

$$\text{Propriétés du mélange P1/P2} \left\{ \begin{array}{c} > \\ = \\ < \\ \neq \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Propriétés de P1 et} \\ \text{propriétés de P2} \end{array}$$

- RELATIONS COMPATIBILITE/MISCIBILITE :



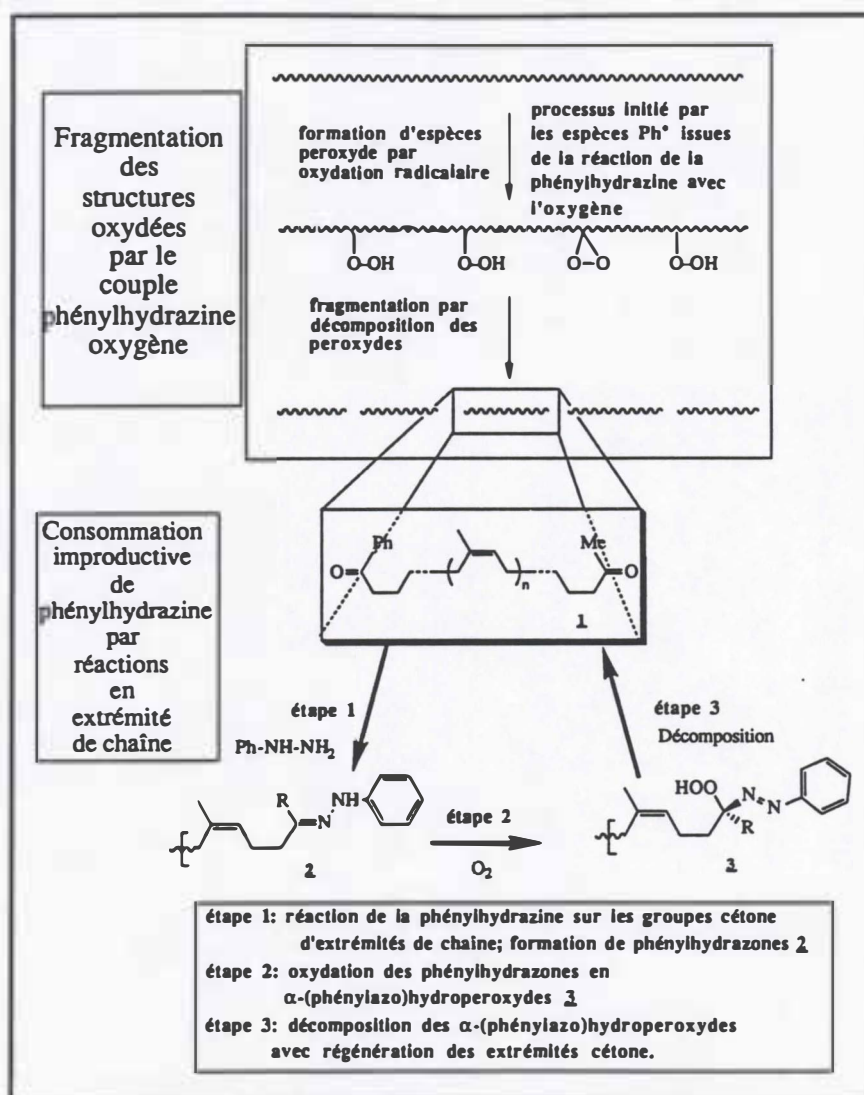
Schéma 25: Exemples de modifications chimiques du caoutchouc naturel conduites en phase latex.



Pr. Brosse

Les tests étaient tout à fait positifs. Le pouvoir antioxydant a été mis en évidence; le seul problème qui se pose est qu'on empêche la migration et on sait que dans certains cas on souhaite précisément cette migration. C'est donc possible et, dans certains cas, utile.

Schéma 26: Dégradation contrôlée du caoutchouc naturel



AGRONOMIE

1 - INTERETS ET AVANCEES DE L'EMBRYOGENESE SOMATIQUE CHEZ LES PLANTES PERENNES

J. MEUNIER

Le soma : ensemble des cellules non reproductives d'un organisme vivant se définit par opposition au germen : ensemble des cellules dont la différenciation donne les cellules reproductives.

L'embryogenèse somatique se définit comme "le processus par lequel des cellules somatiques haploïdes, diploïdes ou polyploïdes, en passant par les étapes du développement embryonnaire, donnent des plantes différenciées sans fusion de gamètes" (Williams et Maheswaran, 1986).

Plus simplement on peut dire que l'embryogenèse somatique est la fabrication d'une plante entière sans intervention de la fécondation.

Ce phénomène existe dans la nature, mais n'est pas général. Il est devenu une voie envisageable de régénération et de multiplication grâce aux techniques de culture *in vitro*.

Les embryons somatiques peuvent provenir soit de cals, de suspensions ou de protoplastes, soit directement de cellules provenant d'organes (embryogenèse directe).

La maîtrise de ce phénomène présente un grand intérêt pour l'amélioration et la multiplication des plantes cultivées :

- ◆ en tant qu'outil de multiplication conforme,
- ◆ en tant qu'outil de modification du matériel.

I - UN OUTIL POUR L'AMELIORATION

L'amélioration des plantes consiste à gérer un matériau de base, la variabilité génétique, dans le but de créer des variétés répondant à des objectifs déterminés.

Les techniques et méthodes traditionnelles mises au point par les sélectionneurs sont efficaces mais souvent difficiles, voire quasi impossibles, à appliquer aux plantes pérennes pour des raisons liées à leur biologie, leur encombrement, la longueur des cycles...

Les techniques *in vitro* ont considérablement élargi les possibilités et accru l'efficacité des moyens d'utilisation de la variabilité génétique.

La mise en oeuvre de ces nouvelles méthodes passe presque toujours par l'utilisation de l'embryogenèse somatique pour régénérer les nouvelles plantes obtenues.

► La production de plants haploïdes et haploïdes doublés

Les lignées pures, constituées d'individus identiques et ayant les mêmes "gènes" sur leurs deux chromosomes, sont particulièrement utiles pour l'étude du déterminisme et de la variabilité génétique, pour la sélection de caractères favorables récessifs (résistances), pour la création des variétés hybrides homogènes (maïs)...

Chez les plantes annuelles on peut obtenir ces lignées par des séries de générations d'autofécondations (6 à 10).

L'obtention de tels individus en une génération (culture de pollen ou d'ovules), grâce à l'embryogenèse somatique, met les pérennes à égalité avec les annuelles. Cette méthode est utilisée chez de nombreuses espèces même annuelles (blé, riz...) ou se multipliant végétativement (asperge).

► La production d'hybrides entre espèces différentes est en général très difficile, souvent impossible par les voies classiques de la fécondation.

La réalisation d'hybrides "interspécifiques" par fusion de protoplastes des 2 espèces est réalisable grâce à l'embryogenèse somatique qui permet de régénérer des plantes entières à partir de ces cellules hybrides.

► La production de plantes transgéniques passe presque toujours par la régénération des plantes, dans lesquelles on a introduit du matériel génétique étranger, grâce à l'embryogenèse somatique.

Les protoplastes, les cals, les suspensions cellulaires sont en effet de bons supports pour les transformations.

II - UN OUTIL DE MULTIPLICATION

Si l'embryogenèse somatique ouvre de nouvelles perspectives pour l'amélioration des plantes pérennes, elle est surtout utilisée comme une méthode remarquablement performante, en théorie, pour produire en masse des plants de qualité à un faible coût.

► Chez les espèces sans multiplication végétative classique (palmier à huile, cocotier...) elle constitue un passage obligatoire pour la multiplication des génotypes sélectionnés.

► Chez les espèces se multipliant végétativement (hévée, caféier,...) les avantages et l'efficacité de la méthode en font également la voie d'avenir pour la multiplication et la conservation des espèces pérennes.

Dans ce dernier cas, l'embryogenèse somatique entre en compétition avec les autres méthodes de multiplication végétative, la micropropagation en particulier.

III - EMBRYOGENESE SOMATIQUE/MICROPROPAGATION

L'embryogenèse somatique constitue une véritable synthèse d'une plante de novo à partir de cellules différenciées.

La micropropagation n'est qu'une stimulation et une reconstitution d'organes existants.

(Dans le cas des boutures, il s'agit d'une restauration, les tissus manquants -racines- étant remplacés par redifférenciation des cellules reformant un nouveau tissu méristématique).

L'avantage de l'embryogenèse somatique est incontestablement la puissance du phénomène, permettant une production de masse. A titre d'exemple les productions obtenues pour le caféier par Francereco donnent les ordres de grandeur.

caféier

| | |
|------------------------|----------------------------|
| bouturage | : 100 à 200 plants par an |
| microbouturage | : 20.000 plants par an |
| embryogenèse somatique | : 400.000 plants en 2 mois |

Ces dernières productions sont obtenues à partir de suspensions d'agrégats cellulaires en milieu liquide dans des bioréacteurs de 3 litres.

Si on ajoute à ce procédé les techniques récentes d'encapsulation et de cryoconservation on entrevoit les extraordinaires possibilités qu'offre le procédé pour la

gestion des cultures (graines artificielles) ou la conservation du germplasm (indéfinie dans l'azote liquide). Ceci est déjà utilisé pour le sapin, l'épicéa, l'eucalyptus, le palmier...

L'embryogenèse somatique offre également un grand intérêt au niveau de la morphogénèse. L'embryon somatique, en repassant tous les stades de l'embryon, constitue le retour à un état de juvénilité complet, ce que le microbouturage ne permet pas toujours de manière parfaite. Enfin ce développement bipolaire "normal" permet, chez les ligneux notamment, l'obtention de plants sans dysfonctionnement au niveau radiculaire (noyer, hévée...).

Cependant, le microbouturage demeure une méthode techniquement mieux maîtrisée et sans surprise, qui doit encore progresser (bioréacteurs).

Le problème de la conformité du matériel produit est bien entendu fondamental. Il est évident, de ce point de vue, que la micropropagation traditionnelle est beaucoup plus sûre, et que la maîtrise de l'embryogenèse somatique nécessite un investissement scientifique plus lourd (analyse et vérification de la conformité, adaptation de la technique aux génotypes...).

IV - LES ESPECES TROPICALES

Dans ce domaine, le CIRAD et l'ORSTOM possèdent une avance certaine, pour les espèces pérennes en particulier.

Le palmier à huile est le seul exemple conduit jusqu'au stade industriel (Malaisie, Indonésie, Côte d'Ivoire) et a donné lieu à des recherches amont qui constituent un modèle. Les unités pilotes ont également permis de mieux cerner les difficultés de mise en oeuvre du procédé.

Le caféier bénéficie d'une technologie très avancée (production en fermenteurs) et la transformation par génie génétique est en cours d'étude.

Un procédé a été obtenu en 1991 pour la régénération du cocotier, qu'il convient de vérifier et le cacaoyer est en bonne voie.

Quant à l'hévée M.P. CARRON présente ci-après l'état des recherches.

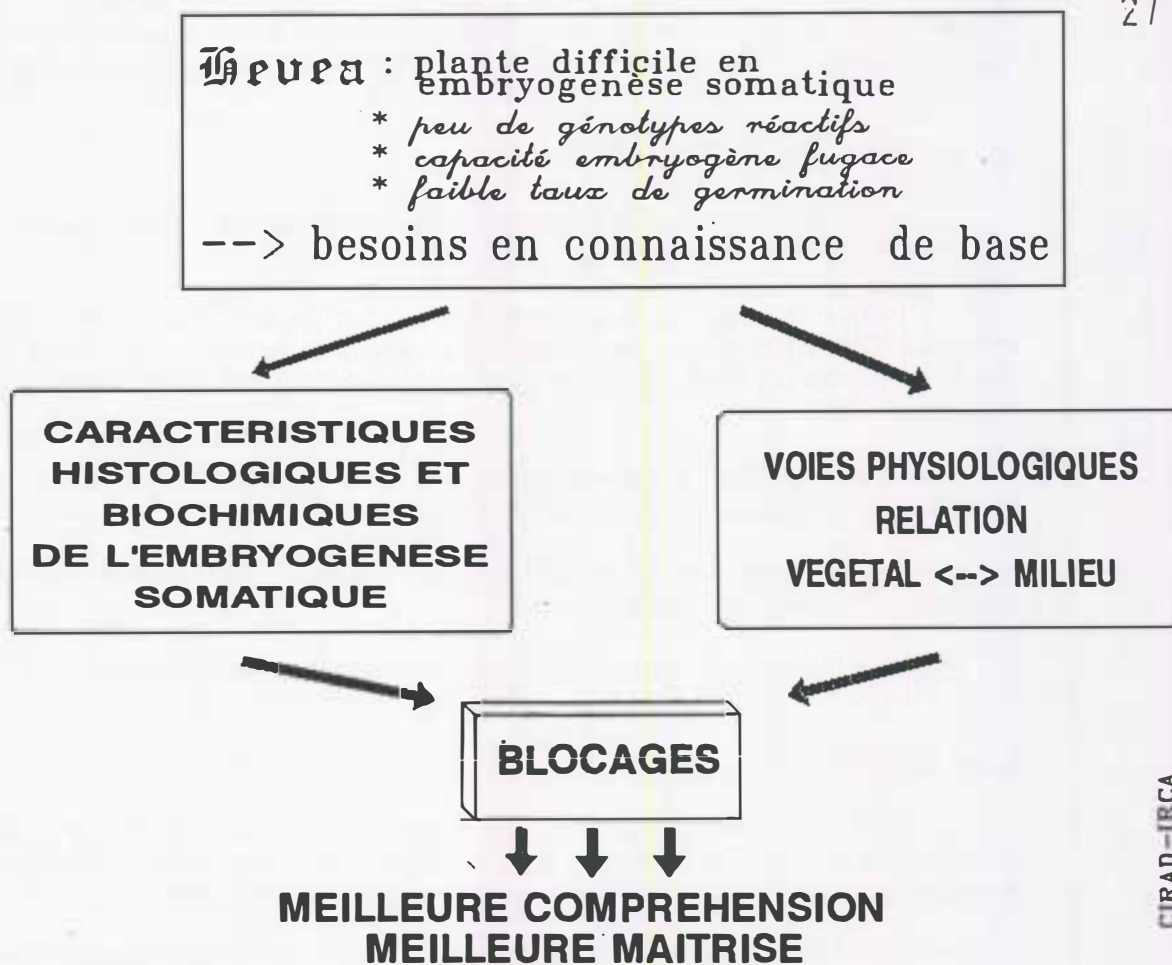
CONCLUSION

L'embryogenèse somatique n'est pas uniquement un système de multiplication d'un génotype particulier. Elle intervient comme phénomène de régénération dans différentes stratégies qui peuvent être développées en amélioration des plantes.

Dans ce fait, elle n'entre pas systématiquement en compétition avec la multiplication végétative plus traditionnelle.

Néanmoins, pour la production de masse, la puissance de ce processus est impressionnante et justifie les recherches en ce domaine. Il est toutefois nécessaire que ces recherches incluent des études poussées sur la conformité, la gestion des cultures et la physiologie des plants produits.

Avec l'aimable collaboration de :
M.P. CARRON, Y. DUVAL, J. SCHWENDIMAN, C. TEISSON



2 - RECHERCHES DE BASE ET RESULTATS DE L'EMBRYOGENESE SOMATIQUE CHEZ *Hevea brasiliensis*

M.P. Carron

La production de vitroplants au cours de la dernière décennie a été en progression très forte pour à peu près tous les groupes de plantes et particulièrement pour les ligneux qui n'étaient pratiquement pas produits au début des années 1980 (Boxus, 1989). Cela témoigne du caractère irréversible de l'utilisation des techniques de culture *in vitro*, lorsqu'elles sont maîtrisées, tant elles présentent d'avantages en complément ou en substitution aux pépinières classiques. Pourtant la demande serait encore bien plus forte si elle n'était souvent limitée par un coût trop élevé de certaines productions. C'est une des causes de l'accélération des recherches sur la régénération de plants à partir de cals ou de suspensions d'amas cellulaires.

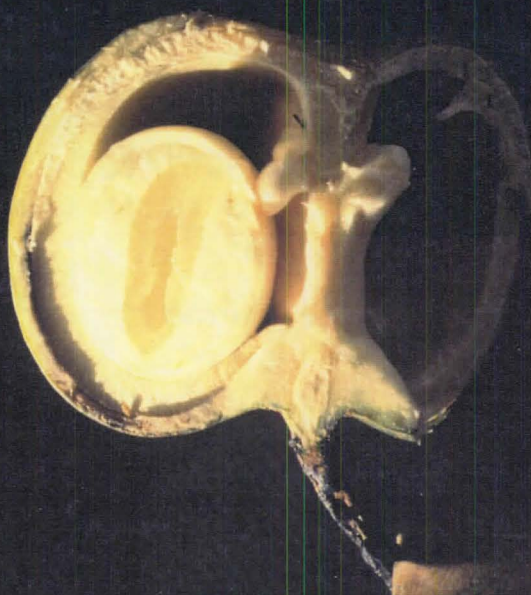
L'embryogenèse somatique de l'hévéa a été obtenue depuis plus de 10 ans par plusieurs laboratoires dans le monde (Wang *et al*, 1980; Wan *et al*, 1981; Carron & Enjalric, 1985). Cependant, à ce jour, la technique n'est toujours pas utilisable ni par l'améliorateur ni par l'hévéaculteur en raison d'une maîtrise insuffisante: l'obtention fiable d'embryons somatiques est limitée à quelques génotypes seulement, la capacité embryogène est fugace et le taux de conversion des embryons en plantules très faible. Ces problèmes ne sont d'ailleurs pas spécifiques à l'hévéa. Le volume des expériences réalisées depuis 15-20 ans sur ce sujet montre à l'évidence que la maîtrise du procédé a peu de chance d'être obtenue sans un approfondissement des connaissances de base.

C'est dans cette voie que notre laboratoire s'est orienté depuis 1984-85. Des recherches ont été entreprises pour une meilleure connaissance des caractéristiques du matériel végétal en culture, d'une part, et de l'incidence de différents paramètres du milieu de culture sur l'évolution de ce matériel, d'autre part (Fig. 27 ci-contre). Ces recherches ont mis en œuvre des techniques d'analyses histologique (Lab. de J. Schwendiman et N. Michaux-Ferriere, BIOTROP/GERDAT) et biochimiques sur l'atmosphère des récipients de culture (Lab. de J. Marchal, CIRAD-IRFA), les régulateurs de croissance (Lab. du Pr. E. Miginiac et de B. Sotta, Univ. Paris 6), les polyamines (Lab. du Pr. J. d'Auzac, Univ. Montpellier 2), l'eau (Lab. du Pr. A. Coudret, Univ. Clermont 2 puis Lab. de A. Berger, CNRS-CEFE), les éléments minéraux (Lab. de P. Fallavier, URA/GERDAT et Lab. de M. Durand, Univ. Montpellier 2), les brunissements dans le cal (Lab. du Pr. J. d'Auzac, Univ. Montpellier 2).

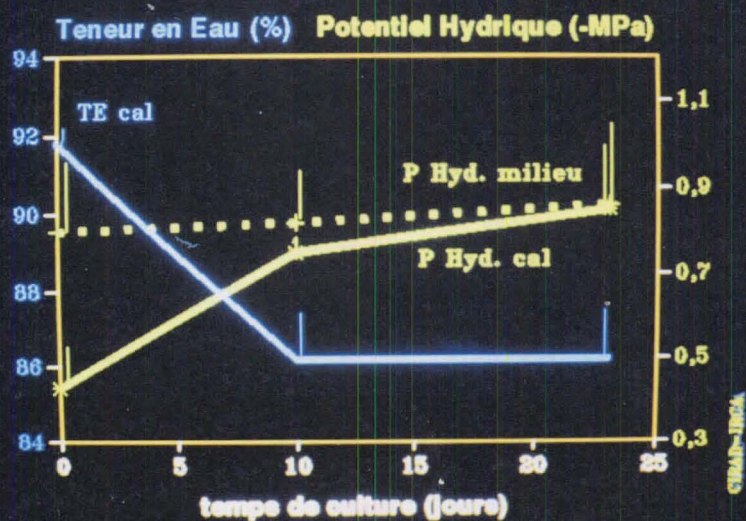
Quelques résultats saillants de ces recherches seront présentés et conduiront à l'exposé des résultats pratiques, en terme de performances du procédé.

LA MISE EN CULTURE

L'explant mis en culture est un fragment du tégument interne de la graine immature (Fig. 28). Il s'agit d'un tissu d'origine maternelle ; il possède donc les caractéristiques génétiques du clone sur lequel le fruit est prélevé. Les observations histologiques ont permis de définir précisément la découpe de l'explant par la détermination des cellules à l'origine du cal.



PARAMETRES HYDRIQUES ET ABSORPTION



Lors de la mise en culture, l'explant très hydraté était déposé sur un milieu à faible potentiel hydrique (-0,9 MPa); plusieurs jours étaient nécessaires pour l'établissement d'un équilibre hydrique, préalable indispensable à l'assimilation des éléments nutritifs du milieu par l'explant. Au cours des 10 jours qui suivaient la mise en culture, la teneur en eau de l'explant passait, en effet, de 92 à 86 % et son potentiel hydrique de -0,4 à -0,75 MPa (Fig.29). L'analyse minérale a permis de vérifier l'influence néfaste de ce stress hydrique entraînant une désorption des principaux éléments minéraux (N, K, Ca, Mg). De même les observations histologiques ont confirmé une stagnation de 5 à 10 jours avant que les premières divisions cellulaires se déclenchent. Une correction des conditions de culture a donc pu être déterminée pour corriger ce handicap initial (Fig.30).

INITIATION DES CALS EMBRYOGENES

L'initiation du cal s'accompagne d'une forte stimulation de la synthèse endogène des polyamines (Putrescine, Spermidine et Spermine) ; l'intensité de cette activation étant en relation avec l'expression ultérieure de l'embryogenèse.

Dans un autre domaine, l'étude de l'atmosphère gazeuse montre une forte synthèse de CO_2 , témoignant de l'intense activité cellulaire, mais aussi une synthèse significative de C_2H_4 . Ce dernier s'est révélé défavorable au développement et à l'entretien d'un cal embryogène. L'élimination de l'éthylène atmosphérique, par l'utilisation soit de récipients non-hermétiques soit de pièges chimiques tels que le KMnO_4 , est efficace. Mais des résultats beaucoup plus remarquables ont été obtenus avec une inhibition de la synthèse endogène par l'acide aminooxyacétique (AOA) ou mieux encore par l'utilisation d'un inhibiteur compétitif agissant au niveau des sites récepteurs de l'éthylène, l'ion argent.

Ces résultats sur l'éthylène et les polyamines sont tout à fait cohérents avec les données sur l'interaction entre les deux métabolismes (Fig.31). Des études récentes confortent l'hypothèse que les polyamines interfèrent directement avec l'enzyme clé de la biosynthèse de l'éthylène, l'ACC synthase, dont l'activité dépend d'une perturbation de l'intégrité membranaire.

EXPRESSION DE L'EMBRYOGENESE

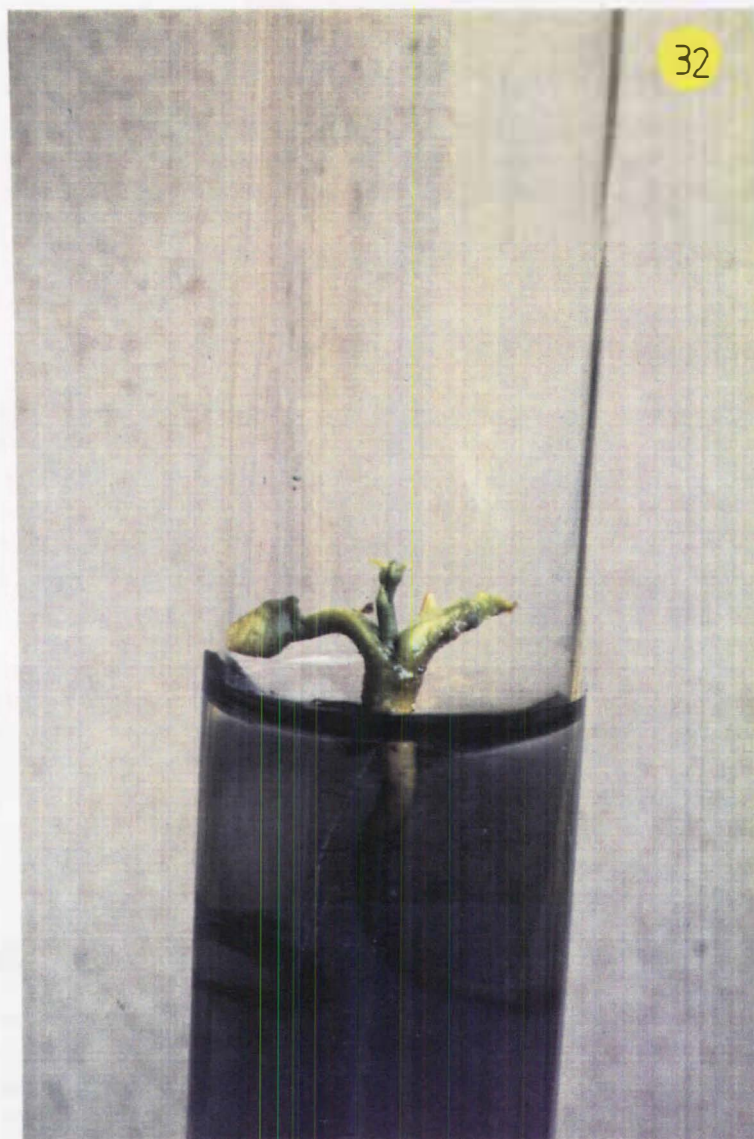
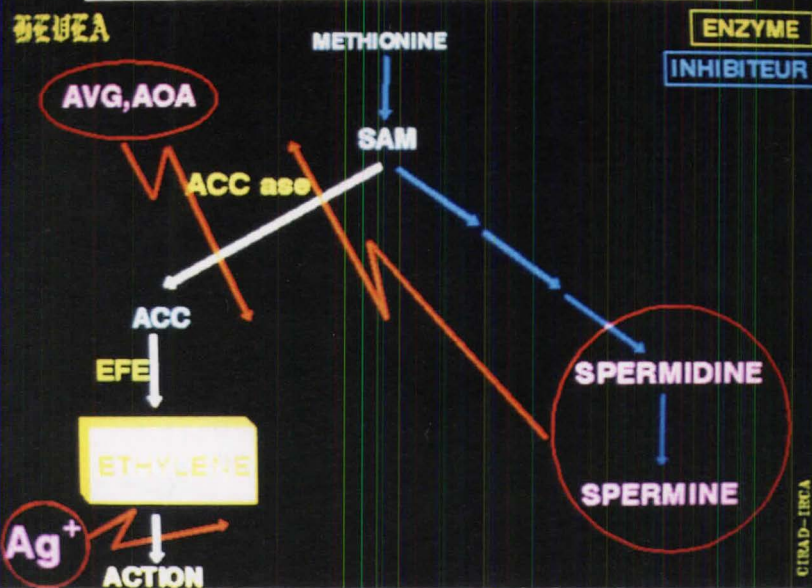
L'expression de l'embryogenèse somatique nécessite de donner au cal les moyens de poursuivre le programme cellulaire initié lors de la première culture. Chez l'hévéa, une relation étroite a été établie entre le potentiel embryogène du cal et son statut hydrique. Indépendamment du traitement utilisé pour obtenir la capacité embryogène (intervention sur les paramètres hydriques du milieu ou l'apport en régulateurs de croissance, notamment), les cals embryogènes se caractérisent par un Potentiel Hydrique et une Teneur en Eau Relative élevés.

Des résultats très récents ont permis d'associer l'acquisition du potentiel embryogène à l'établissement d'un statut hormonal endogène particulier concernant, notamment, l'AIA, l'ABA et son dérivé l'ABA-GE. Ils ont également permis d'établir une relation entre cette composition endogène et certains apports de régulateurs de croissance dans le milieu. Ces résultats sont, d'ailleurs, cohérents avec ceux sur les paramètres hydriques en ce qui concerne l'accumulation d'ABA chez les cals non embryogènes, dont on a vu qu'ils subissaient un fort stress hydrique.

MATURATION ET GERMINATION DES EMBRYONS SOMATIQUES

La comparaison des caractéristiques histologiques et biochimiques des embryons zygotiques et des embryons somatiques a révélé que l'immaturité de ces derniers était en grande partie responsable des très faibles taux de germination (moins de 1 %) et des anomalies de développement des plantules enregistrés jusqu'alors : absence de différenciation du méristème caulinaire, très faible accumulation de réserves, tissus très hydratés, notamment. Une phase spécifique de maturation a donc été mise en place, destinée à amener les

Synthèse de l'Ethylène et des Polyamines



embryons somatiques à un état proche de celui des embryons zygotiques aptes à la germination (Fig.32).

EMBRYOGENESE SOMATIQUE ENTRETENUE

Il est clair aujourd'hui que l'on ne peut envisager d'utiliser l'embryogenèse somatique à l'échelle industrielle que si l'on dispose d'un système fiable et très performant. Ce niveau de maîtrise n'a encore été atteint que pour quelques plantes telles que la carotte, la vigne et le caféier, peut-être grâce à l'obtention de suspensions embryogènes stabilisées.

Une démarche a donc été entreprise dans ce sens chez l'hévéa. A l'heure actuelle, des cals embryogènes sont entretenus depuis plus de 8 mois par repiquages réguliers sur milieu gélosé ; des plantules ont été obtenues à partir des embryons qu'ils produisent à chaque subculture. Cette démarche a également débouché sur l'établissement et l'entretien pendant plus de six mois de suspensions d'agrégats cellulaires embryogènes ; ces agrégats embryogènes permettant, pour la première fois à notre connaissance, la régénération d'embryons chez les clones PR 107, PB 260 et GT1 (Fig. 33 et 34).

CONCLUSION

L'étude des caractéristiques biochimiques et histologiques des cals d'hévéa, présentée dans cette synthèse, et celle des jeunes embryons formés, bien que limitée à quelques paramètres, a apporté des informations complémentaires de celles de la bibliographie pour guider l'amélioration des conditions de culture. L'obtention du phénomène d'embryogenèse somatique, encore aléatoire il y a quelques années, est ainsi devenue systématique chez la plupart des clones étudiés (PB 260, PB 235, PR 107, RRIM 600, notamment), avec des fréquences élevées de l'ordre de 60 à 100 % de cals embryogènes par rapport au nombre d'explants mis en culture. De plus cette connaissance intime du matériel végétal s'avère très utile pour la poursuite de la mise au point du procédé concernant notamment le développement des embryons en plantules (le taux de germination est récemment passé de 1/1000 à environ 30 %) et la stabilisation de la capacité embryogène que ce soit par l'entretien de cals sur milieux semi-solides ou par l'obtention de suspensions d'agrégats cellulaires.

Environ une centaine de plantules de PB 260, PB 235 et PR 107, issues de ces expériences sont en cours d'acclimatation dans les serres de l'IRCA (Fig. 35 et 36). Il est envisagé qu'une partie d'entre elles soit expédiée Outre-Mer pour être plantée en champ.

Indépendamment de la mise au point d'un procédé fiable et performant, la connaissance des caractéristiques du matériel en culture devrait permettre, à terme, de mieux appréhender un des risques majeurs de cette technique, le problème éventuel de la conformité des plants produits.

Discussion

M. Latrille

Sur quelle base a-t-on choisi les clones tels que PB 260 ?

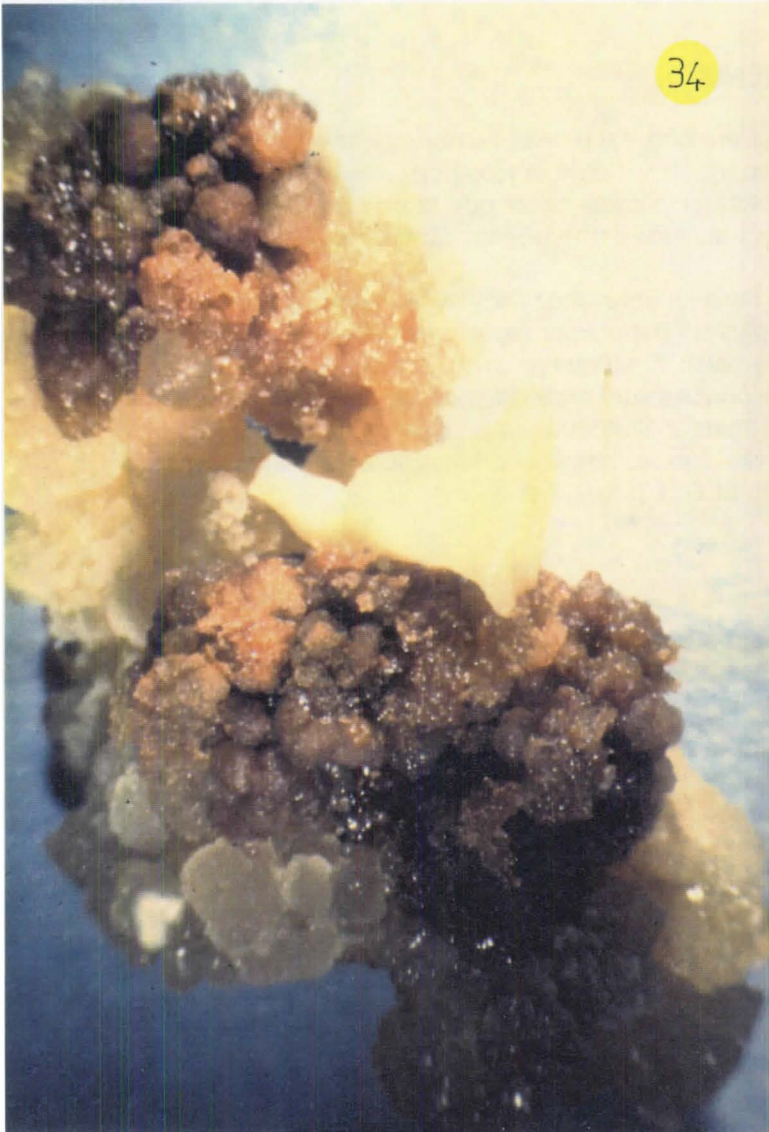
M. Carron

Sur la base des clones d'intérêt industriel qui pouvaient le plus régulièrement au cours de l'année fournir des fruits pour l'expérimentation.

M. Nicolas

On a tendance à considérer la technique d'embryogenèse somatique en face de la technique de microbouturage. Les deux techniques sont-elles réellement totalement dissociables, l'une ne peut-elle profiter d'apports de l'autre, et vice versa, au niveau des applications industrielles ?

34



36



35



M. Carron

En ce qui concerne les apports de l'une sur l'autre: les recherches sur le microbouturage et l'embryogenèse ont été menées en parallèle depuis 10 ans. Les recherches fondamentales qui ont été faites sur l'une ont rejailli sur l'autre. Le meilleur exemple est un thésard qui a commencé son DEA sur l'embryogenèse somatique et qui a terminé son 3^{ème} cycle sur le microbouturage. Au niveau industriel toute la phase d'acclimatation est très proche pour l'un ou l'autre type de produits.

M. Nicolas

Plus précisément peut-on utiliser le produit de l'embryogenèse somatique pour la rajeunissement vers le microbouturage ?

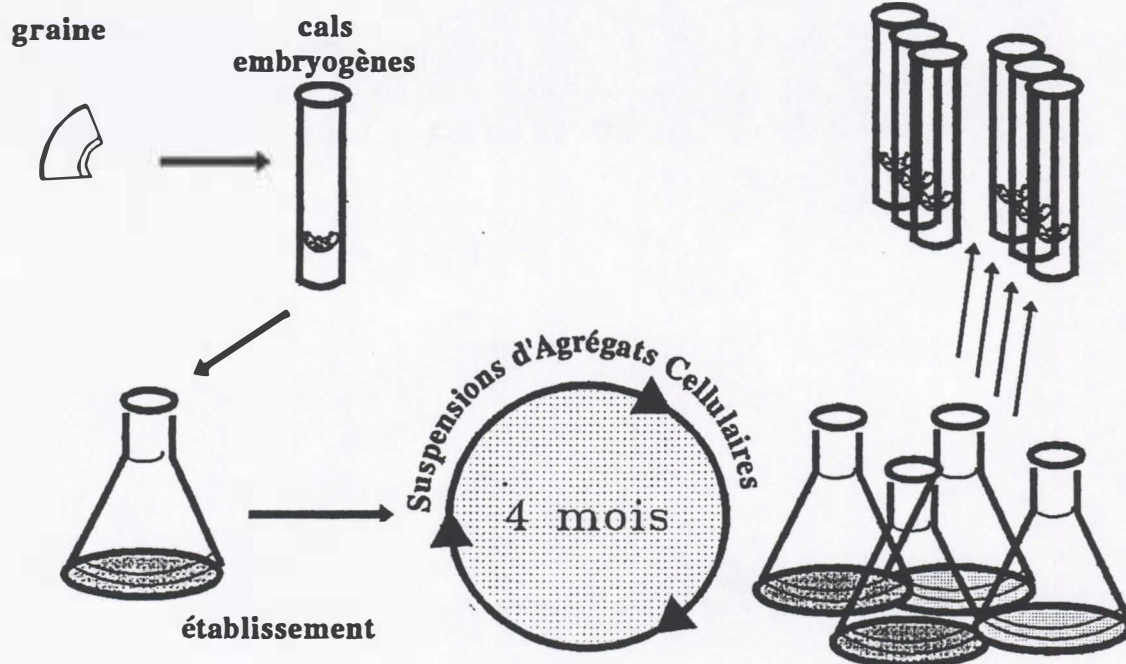
M. Carron

Non seulement on peut l'envisager mais des expérimentations sont en cours: a priori l'embryogenèse somatique est la technique la plus performante pour rajeunir complètement un génotype puisqu'on repasse par le stade embryon. Le pivot et le système racinaire sont un reflet morphologique de cette juvénilité. Le développement des jeunes plants exprime a priori aussi cette juvénilité. Des expériences vont être mises en oeuvre pour vérifier cette juvénilité en termes de réactivité au microbouturage et d'autre part pour vérifier cette juvénilité à travers des paramètres biochimiques qui ont été mis en relation avec la juvénilité par Valérie Haffner dans la thèse qu'elle a soutenue il y a quelques mois.

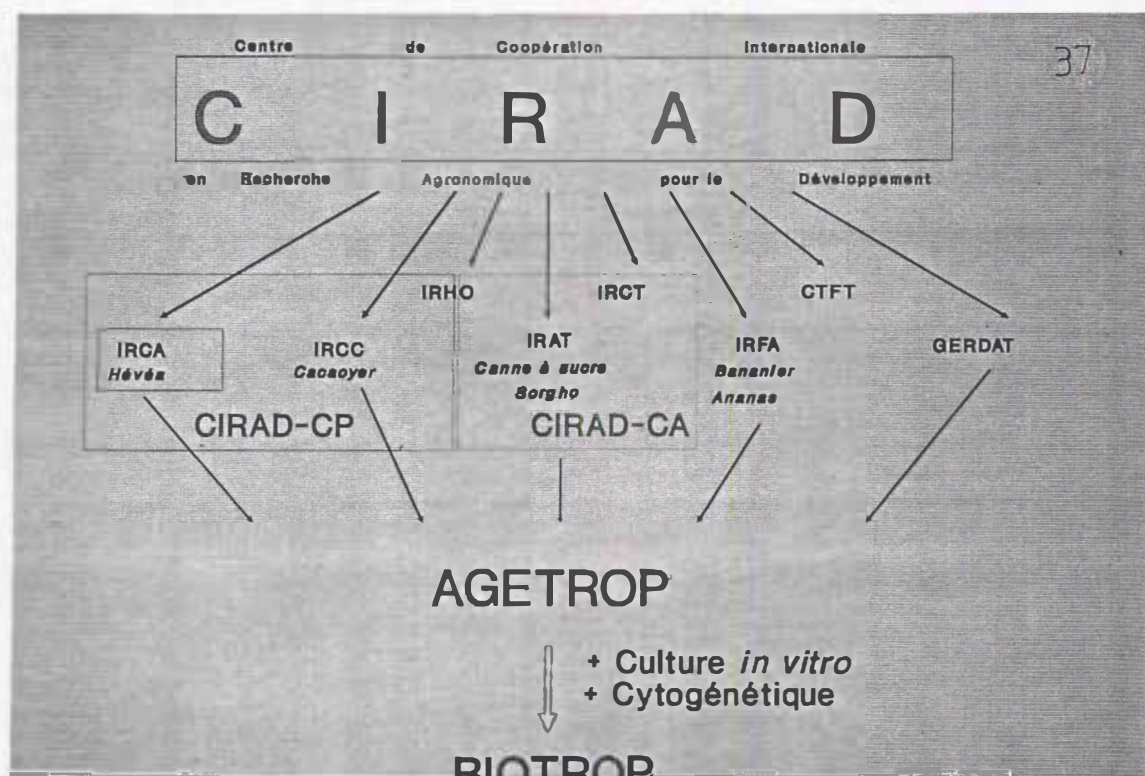
33

THEIA

| | |
|--------|-----------|
| PR 107 | 5 à 12 % |
| PB 260 | Cals avec |
| GT1 | Embryons |



CIRAD-IRCA



3 - MARQUEURS MOLECULAIRES ET IDENTIFICATION CLONALE CHEZ L'HEVEA : DEVELOPPEMENT DES EMPREINTES GENETIQUES PAR RFLP ET APPLICATION *in situ* DES ISOZYMES

M. SEGUIN

LE PROGRAMME IRCA/AGETROP

La présente communication a pour objet l'application des marqueurs moléculaires au problème de l'identification variétale (clonale) chez l'hévéa.

Ces recherches ont été réalisées au sein du laboratoire d'Analyse du Génome des Espèces Tropicales (AGETROP) qui, avec les laboratoires de Culture *in vitro* et d'Histo-cytogénétique, fait partie de l'unité de biotechnologie du CIRAD (BIOTROP). Le rôle d'AGETROP/BIOTROP a été la mise au point des techniques, d'abord d'électrophorèse des protéines puis, plus récemment, de **biologie moléculaire**, pour le développement des **marqueurs génétiques** chez les plantes cultivées tropicales, en relation avec les programmes d'amélioration.

Quatre départements du CIRAD maintiennent actuellement des équipes de recherches travaillant sur 6 espèces dont l'hévéa pour l'équipe IRCA (Fig. 37 ci-contre). Les recherches sur hévéa portent sur 3 thèmes :

1. étude de la diversité génétique des populations de clones sélectionnés et cultivés (collection Wickham) et de clones issus de prospections en Amazonie (prospections Schultes, IRCA 1974, IRRDB 1981).
2. cartographie du génome de l'hévéa.
3. caractérisation génotypique et identification clonale.

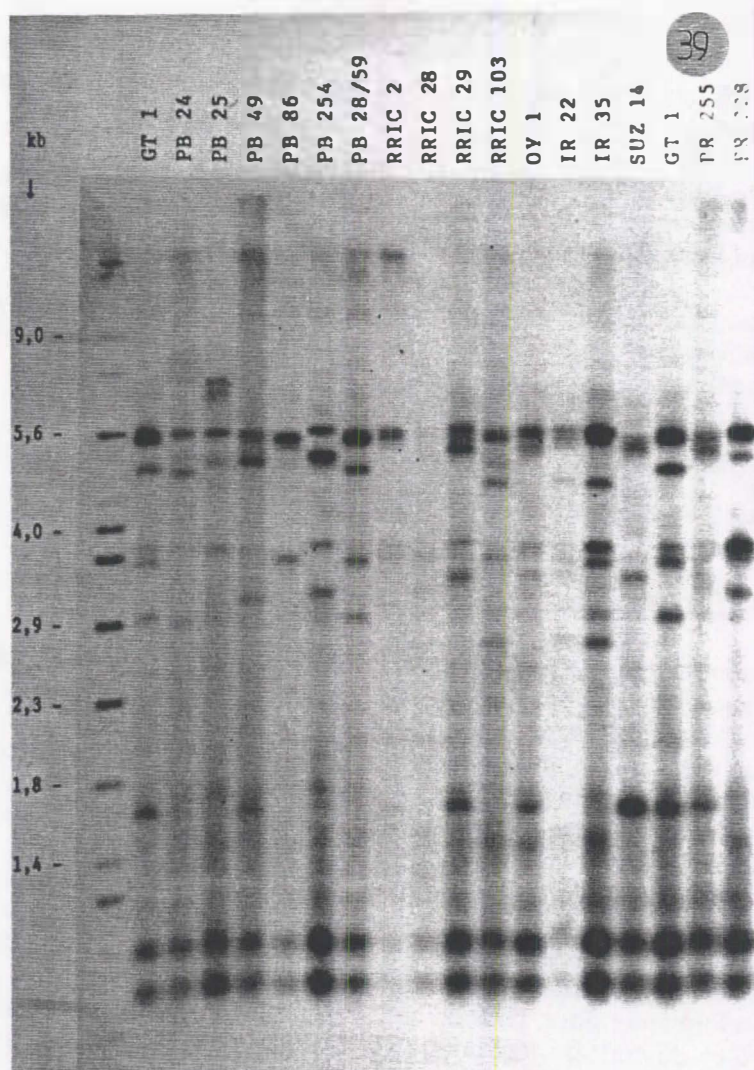
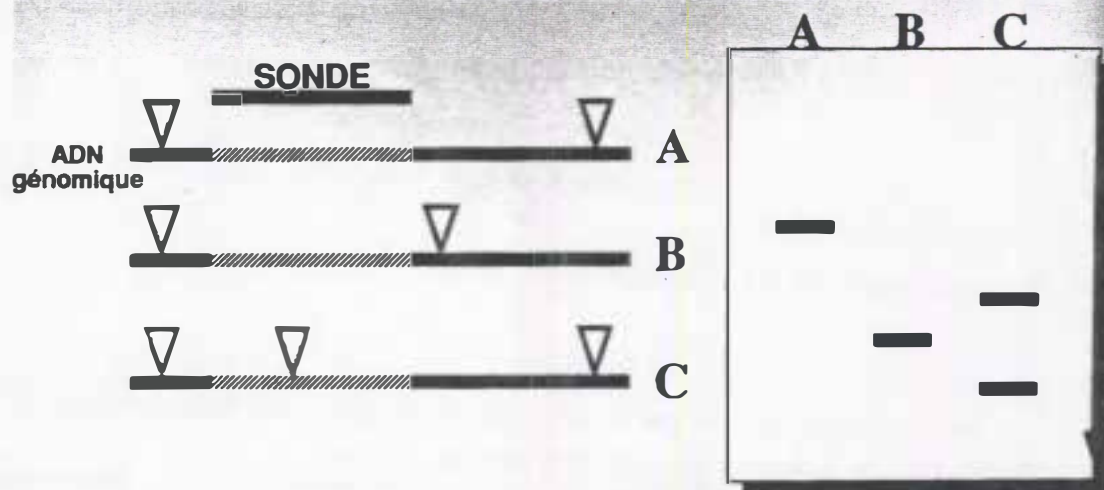
L'IDENTIFICATION CLONALE

Le problème de l'identification variétale est particulièrement important chez l'hévéa, les variétés cultivées (clones de greffe) présentant peu de caractères morpho-anatomiques distinctifs. Cette situation a pour conséquence l'existence d'erreurs de **conformité clonale**, en particulier dans les Jardins à bois, où les souches, fréquemment recépées, sont peu différenciées. Ces erreurs se répercutent au niveau des plantations monoclonales et ont pour conséquences probables une mauvaise évaluation de la valeur agronomique des clones et une diminution des rendements en caoutchouc (latex).

D'où l'intérêt pour les marqueurs génétiques moléculaires permettant de réaliser, à un stade précoce de développement, la caractérisation génotypique des clones. La première technique développée par l'IRCA a été l'électrophorèse d'**isozymes**. Cette technique s'est avérée performante pour l'hévéa. De plus, en raison de la simplicité de l'équipement nécessaire et du coût de fonctionnement relativement faible, l'application à l'identification clonale a pu se faire en routine par cette technique. Une des limites des isozymes est, cependant, la nécessité de travailler à partir d'échantillons de feuilles fraîches ou lyophilisées. Pour la réalisation des électrophorèses d'isozymes à Montpellier, cela implique, le plus

PROFILS RFLP

38



souvent, l'envoi de stumps greffés à partir des plantations outre-mer. Ceci a conduit à la conception et à la mise en oeuvre d'une unité mobile d'électrophorèse (**laboratoire portable**) pour la réalisation de contrôle de conformité clonale *in situ*, en plantation, ce qui sera exposé à la fin de cette communication.

La seconde limite des isozymes tient au nombre restreint de gènes auxquels on a accès par cette technique. C'est pourquoi les recherches se sont portées sur le développement d'une méthode d'empreintes génétiques par RFLP, applicable à l'hévéa.

EMPREINTES GENETIQUES PAR RFLP

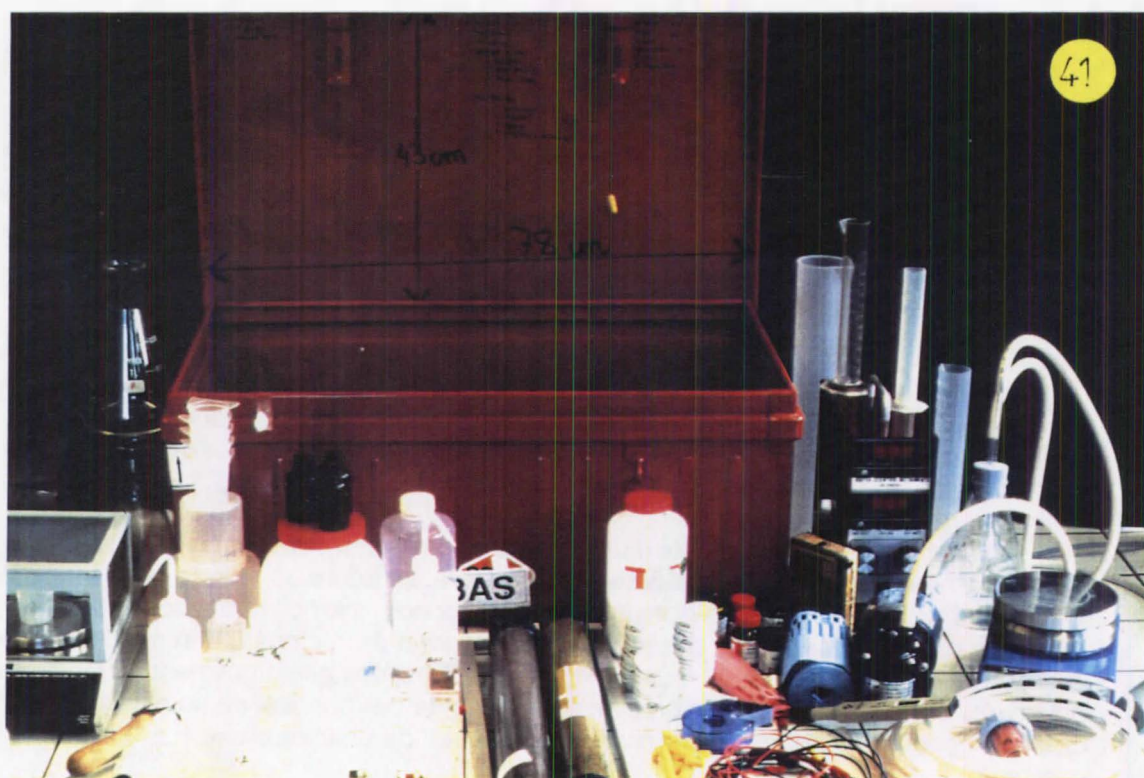
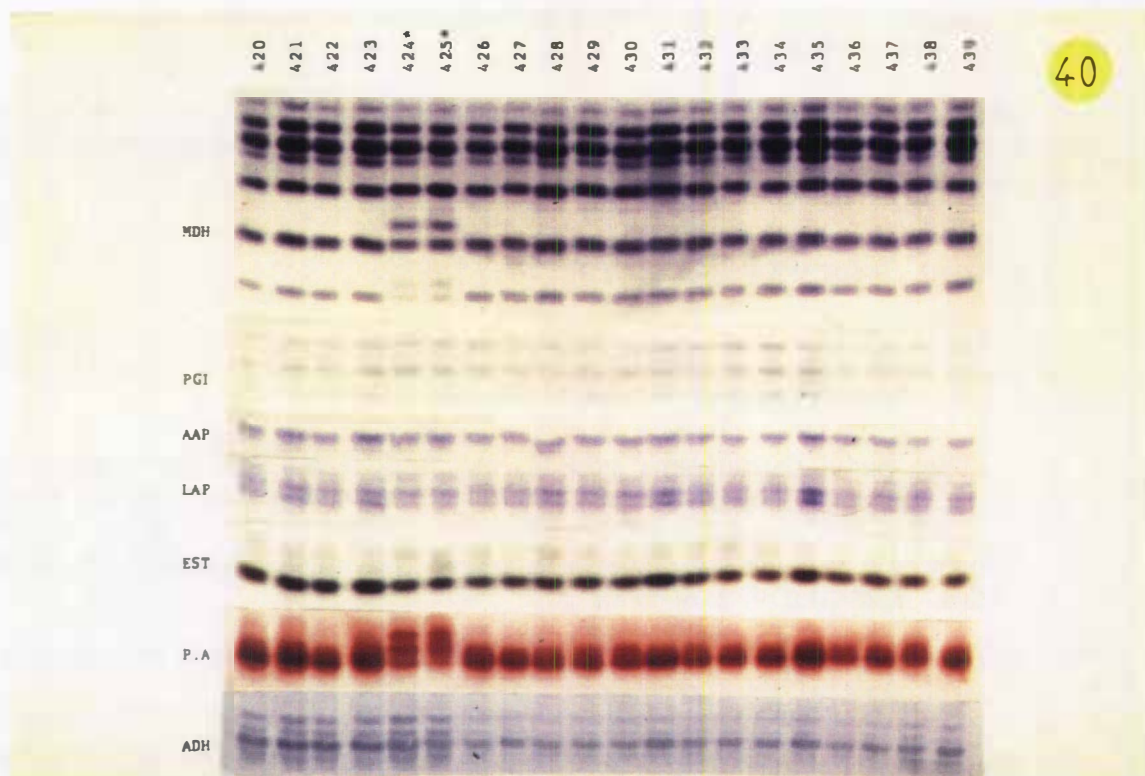
Les RFLP, en français Polymorphisme de Longueur de Fragments de Restriction, consistent à révéler le polymorphisme génétique existant au niveau de l'ADN. La figure 38 schématise le principe des RFLP :

1. l'ADN extrait de différents individus est découpé à l'aide d'enzymes, appelées enzymes de restriction, qui ont la propriété de couper l'ADN en des sites très spécifiques. La variabilité génétique entre les individus se traduit par une variation du nombre et de la position des sites de coupure, induisant une variation de la longueur des fragments d'ADN générés ;
2. ces fragments de restriction sont ensuite séparés en fonction de leur taille par électrophorèse, ceux de plus petite taille se déplaçant plus vite;
3. pour révéler les variations génétiques de longueur des fragments, on utilise ce qu'on appelle une sonde, c'est-à-dire une portion de séquence nucléotidique d'un gène. Cette sonde va s'hybrider spécifiquement à l'endroit où ont migré les fragments de restriction qui lui correspondent. En employant des radio-isotopes ou des substances luminescentes incorporés dans la sonde, on révèle des bandes dont la présence/absence varie d'un génotype à l'autre;
4. pour analyser précisément le polymorphisme entre individus, on a la possibilité de faire varier, de façon presque illimitée, la sonde ou l'enzyme utilisée.

La figure 38 correspond au cas d'une sonde révélant peu de bandes. Des sondes correspondant à des séquences très hautement répétées dans le génome, donnent des profils de restriction comportant un grand nombre de bandes. On a ainsi découvert récemment chez l'homme, un type de séquences, appelées minisatellites, donnant des profils RFLP spécifiques de chaque individu, du fait de la présence de nombreuses bandes extrêmement variables génétiquement. Cette technique d'empreinte génétique, ou DNA fingerprinting, est actuellement utilisée en médecine légale, pour l'identification de criminels et pour des recherches de paternité. De plus, on a rapidement découvert que ces séquences minisatellites étaient très conservées du point de vue évolutif, et existaient chez toutes sortes d'organismes, y compris les plantes supérieures.

C'est ainsi qu'il a été possible d'utiliser une de ces séquences, isolée chez l'homme, pour l'établissement d'empreintes génétiques chez l'hévéa. La figure 39 montre les profils RFLP de l'ADN total de clones Wickham obtenus avec cette sonde, marquée radioactivement, et après digestion par l'enzyme *RsaI* ; chaque ligne correspond à un clone différent. L'analyse a été étendue à un échantillon de 73 clones Wickham : 17 bandes génétiquement variables ont été observées et la combinaison de présence/absence de ces bandes, au nombre de 4 à 13 par clone, a conduit à l'obtention de profils spécifiques de chaque clone (i.e. 73 profils RFLP différents).

Ainsi, l'utilisation d'une sonde minisatellite humaine a permis, sans qu'il ait été nécessaire d'isoler une séquence d'ADN spécifique, d'établir une méthode efficace d'identification clonale chez l'hévéa. C'est une illustration de la puissance de la biologie moléculaire appliquée à la génétique, les recherches sur une espèce donnée pouvant avoir des retombées, même pour des espèces génétiquement très éloignées. Pour l'hévéa, les RFLP présentent un avantage supplémentaire très important, par rapport aux isozymes ; en effet, l'ADN peut être



extrait à partir de feuilles simplement séchées dans une étuve, les feuilles pouvant être prélevées à un stade adulte ou juvénile, ce qui résout les problèmes d'approvisionnement en matériel végétal.

Cependant, le développement des RFLP est actuellement limité par la longueur des expérimentations, l'emploi d'isotopes radioactifs et le coût en fonctionnement des techniques de biologie moléculaire.

EMPREINTES GENETIQUES PAR ISOZYMES

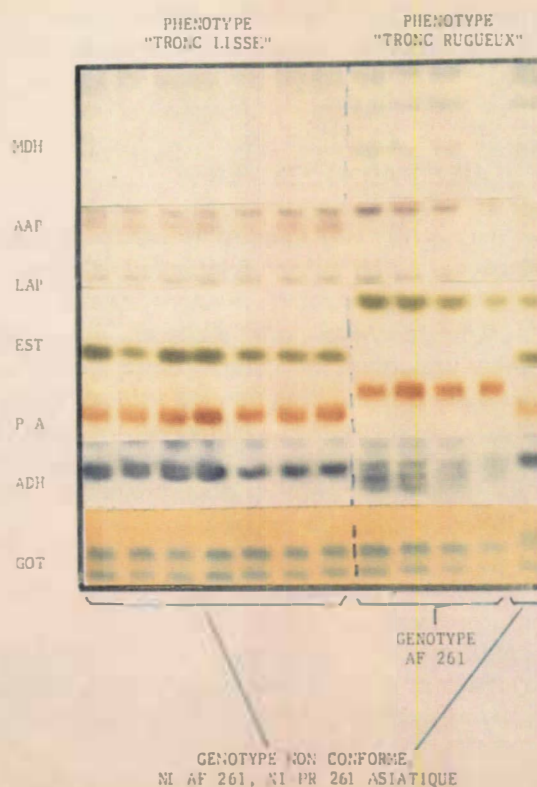
De ce fait, la technique des isozymes reste très intéressante pour des applications à grande échelle. Les isozymes permettent également d'établir des empreintes génétiques (Fig.40), mais au niveau protéique. Après électrophorèse d'extraits protéiques totaux, on révèle la position de protéines correspondant à une enzyme donnée, grâce à des systèmes de coloration spécifique. La variabilité génétique entre individus peut se traduire par des variations du nombre et de la position des bandes : sur la figure 40, le système MDH (Malate Déshydrogénase) révèle que 2 des individus analysés (n° 424 et 425) ont un génotype différent de celui des 18 autres individus. L'utilisation de plusieurs systèmes enzymatiques permet de révéler la variabilité de plusieurs gènes : on augmente ainsi les chances de révéler des différences électrophorétiques entre génotypes.

Au laboratoire, la technique a été mise au point sur hêvéa, en utilisant 12 systèmes enzymatiques, et a été éprouvée sur d'importants échantillons de génotypes (clones) : par exemple, l'analyse par isozymes du même échantillon de 73 clones Wickham que celui analysé par RFLP (voir ci-dessus) a permis de révéler 71 génotypes différents, ce qui revient à dire que **98% des clones sont distinguables** par cette technique d'identification clonale.

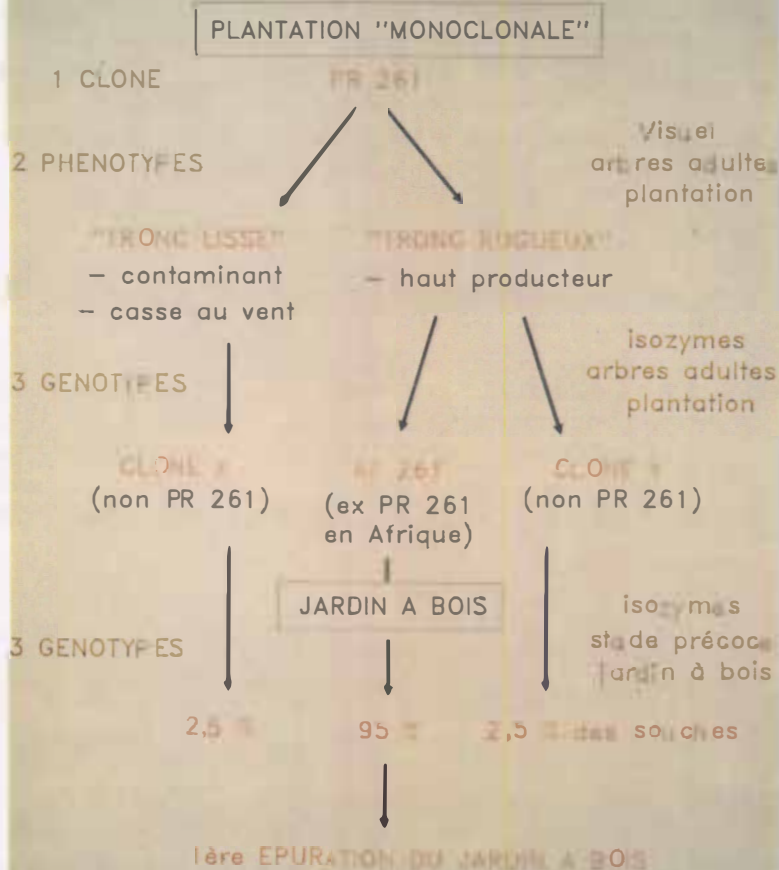
Sur cet échantillon, les isozymes apparaissent un peu moins efficaces que les RFLP avec lesquels 100% des clones présentèrent des profils distincts. Mais il faut souligner que 98% de clones distinguables constitue un résultat remarquable si l'on tient compte de la faible diversité génétique existant entre ces clones Wickham. Ainsi, les isozymes sont-ils utilisables pour l'identification clonale chez l'hévéa et pour les applications qui en découlent :

1. **Contrôle de conformité clonale** d'individus en jardins à bois ou en plantation monoclonale. A l'heure actuelle, les génotypes isoenzymatiques de référence ont été établis pour 172 clones sélectionnés (clones Wickham et IRCA). La figure 40 donne un exemple de détection de non conformités clonales sur un échantillon de 20 individus supposés appartenir au clone PB 235 : les 2 individus 424 et 425 ont un génotype différent du génotype de PB 235 de référence pour les 2 systèmes MDH (Malate Déshydrogénase) et PA (Phosphatase Acide).
2. Tests de paternité sur des descendance en croisements contrôlés.
3. Etude de la pollinisation libre et du régime de reproduction.

Comme cela a été dit plus haut, les isozymes sont relativement simples et peu coûteuses à mettre en oeuvre ce qui permet à l'IRCA de les exploiter en routine, pour des analyses de service en conformité clonale. Cela a été le cas, en particulier, pour des analyses de conformité clonale effectuées avant micropropagation, pour le compte de la Société de Microbouturage de l'Hévéa (SMH). Ces travaux ont été réalisés à Montpellier à partir de matériel disponible en serres.



IDENTIFICATION CLONALE "IN SITU" GRACE AU LABORATOIRE PORTABLE



LABORATOIRE PORTABLE

Pour permettre l'extension de l'application des isozymes, les protocoles et l'équipement nécessaire à sa réalisation ont été simplifiés au maximum. C'est ainsi qu'a été créée une unité mobile d'électrophorèse ou **laboratoire portable**. L'ensemble du matériel et des produits nécessaires pour la réalisation de l'empreinte génétique de 350 individus a été réduit au point de contenir dans une cantine transportable comme bagage par avion (Fig.41). Cet équipement permet à un expert d'intervenir outre-mer pour des contrôles de conformité en plantation *in situ*. La réalisation des manipulations nécessite simplement la mise à disposition, sur place, d'une paillasse avec électricité et eau courante, d'un réfrigérateur et d'un congélateur. Ce laboratoire portable a pu être testé au cours de 2 missions en Côte d'Ivoire. Il s'est avéré tout à fait performant et son application a permis de confirmer l'existence d'erreurs de conformité clonale en jardins à bois et en plantations.

L'exemple d'une plantation monoclonale du clone de PR 261 est tout à fait démonstrative des possibilités d'applications du laboratoire portable au problème de conformité clonale (Fig. 42). Il faut d'abord rappeler que, sur une autre plantation en Côte d'Ivoire, les isozymes avaient permis de confirmer que le clone PR 261 multiplié avait un génotype différent de celui du PR 261 d'Asie ; ce clone a ainsi été rebaptisé AF 261. On pouvait s'attendre à ce que toutes les plantations de PR 261 en Côte d'Ivoire soient en fait de l'AF 261. Sur la plantation étudiée, les planteurs avaient par ailleurs observé, sur arbres adultes, l'existence de 2 phénotypes :

- un phénotype "tronc rugueux", majoritaire et correspondant à un matériel haut producteur;
- un phénotype "tronc lisse", minoritaire, présentant une forte sensibilité à la casse au vent, et provoquant une perte de productivité après plusieurs années.

L'analyse génotypique par isozymes a été réalisée d'abord sur des arbres de cette plantation (Fig.43) et a permis de montrer que :

1. les 2 phénotypes correspondaient effectivement à des génotypes différents, le génotype du clone "tronc lisse" ne correspondant à aucun clone connu ;
2. le phénotype "tronc rugueux" était lui même génétiquement hétérogène et constitué de 2 génotypes : le 1^{er} génotype, majoritaire, correspondait bien à celui de l'AF 261, le 2nd génotype ne correspondant à aucun clone connu.

Ainsi, cette plantation de PR 261 s'est avérée être une plantation d'AF 261, "contaminée" par 2 génotypes inconnus, aucun des 3 génotypes ne correspondant au PR 261 d'Asie (Fig.42).

Toujours à l'aide du laboratoire portable, a ensuite été réalisée l'analyse du jardin à bois correspondant à la plantation et où aucune hétérogénéité clonale n'était visible. Le génotype isoenzymatique a été établi pour un échantillon de 81 souches du jardin à bois ce qui a permis de montrer (Fig.42) que :

1. les erreurs de conformité clonale en plantation provenaient du jardin à bois lui-même et non d'erreurs de greffage, les 3 génotypes identifiés en plantation étant présents dans des proportions équivalentes, dans le jardin à bois ;
2. ces impuretés clonales étaient visuellement non détectables à un stade juvénile, démontrant l'intérêt de l'application *in situ* des marqueurs isoenzymatiques.

Ainsi, grâce à ce laboratoire portable, l'IRCA est en mesure de proposer ses services pour des analyses d'identification clonale sur n'importe quelle plantation d'hévéa dans le monde. Il faut enfin souligner qu'un des intérêts de ces analyses *in situ* est que les résultats peuvent être donnés immédiatement, la détermination des génotypes nécessitant seulement 3 jours.

Discussion

M. Doat

L'AF 261 que vous avez rebaptisé est-il égal au PR 261 ?

M. Seguin

Non. Au niveau agronomique cela avait été soupçonné car il y avait des données qui ne collaient pas. C'est par les isozymes que l'on a bien démontré que génétiquement il était différent.

M. Gener

Allez-vous appliquer cette technique à grande échelle en Indonésie ?

M. Seguin

Oui. Dans le cadre du développement normal de ce labo "portable" nous avons proposé ce service qui va être appliqué prochainement, au mois d'avril, pour des tests de conformité sur la plantation de Sembawa. Une mission de 3 semaines est prévue qui permettra de contrôler de 300 à 350 souches de jardin à bois.

M. Gener

Sur cette station y a-t-il des clones que vous ne connaissiez pas ?

M. Seguin

Sans doute, mais peut-être que les clones à analyser sont uniquement des clones bien connus (GT 1, PR 107...). Un des intérêts de ce laboratoire "portable" est que l'on puisse se déplacer. Cela peut paraître bizarre, on a l'impression qu'on a tiré le piano au lieu d'avoir rapproché la chaise. Mais en fait, cela nous permet de discuter avec les planteurs, sur place, de se mettre d'accord avec eux sur le problème exact qui se pose; de définir un échantillonnage suivant le problème posé. Je ne pense pas qu'on aurait obtenu les mêmes résultats sur le PR 261 si on avait reçu le matériel d'outre-mer. On a pu définir le problème tel que le voyaient les planteurs, faire l'analyse en plantation et réaliser le test sur arbres adultes immédiatement dans le jardin à bois correspondant et sortir aussitôt le résultat.

M. Latrille

Combien de jours dure une détermination ?

M. Seguin

Avec le laboratoire portable on compte faire environ 350 analyses en 3 semaines. Cela ne permet pas de purifier complètement un jardin à bois mais de faire un échantillonnage suffisamment poussé pour donner une image du problème qui se pose et répondre à des questions comme : les différences phénotypiques entre deux PR 261 correspondent-elles à quelque chose de génotypique et est-ce que le problème vient du jardin à bois ?

M. Rémy

D'après sa carte peut-on rapprocher ce faux PR 261 d'autres clones d'Indonésie ou de Malaisie ?

M. Seguin

Non car s'il est assez facile sur des gels d'observer des différences, il est plus délicat de faire la démarche inverse. On peut soupçonner en disant que deux profils sont identiques, donc ces deux clones se correspondent, mais il vaut mieux rester prudent.

M. Latrille

Vous constituez-vous une bibliothèque ?

M. Seguin

Nous constituons effectivement une banque de données avec tous les génotypes que nous avons pu analyser. On en est à 172 clones (104 Wickham et 68 IRCA). Pour ces clones nous avons un génotype de référence que nous supposons être le meilleur.

M. Latrille

Un même clone peut-il présenter des différences entre l'Afrique et l'Indonésie ?

M. Seguin

Génétiquement, par notre méthode, c'est théoriquement impossible. Si le génotype est différent alors ce sont des clones différents.

M. Rémy

Lors du passage de M. Chapuset en plantation, je lui ai indiqué une référence de M. Bobilioff (hollandais) qui avait trouvé un test colorimétrique du latex. Avec quelques gouttes de latex du pétiole il arrivait à différencier les clones; ça permettrait de faire un premier triage avant la venue des spécialistes.

M. d'Auzac

Le service Documentation de l'IRCA s'il ne connaît pas déjà cette référence va s'empresse de se la procurer.

M. X

Y a-t-il une trace génotypique différente entre les arbres secs et les arbres produisant normalement ?

M. Seguin

Pour les isozymes on est contraint de travailler sur du matériel jeune (jeunes feuilles). On a pu le faire en plantation (sur arbre adulte) car la casse au vent avait permis d'avoir des repousses. Dans ces conditions, il n'y a pas d'influence de l'état physiologique, ou du milieu, sur les profils enzymatiques.

4 - UN NOUVEAU SYSTEME DE SAIGNEE

J.L. JACOB

Un nouveau système de saignée a été envisagé qui ouvre, s'il s'avère opérationnel, des horizons nouveaux à l'hévéaculture. Imaginé en Malaisie par le Dr Guha, il est également étudié maintenant par de nombreux Instituts et nous y attachons également à l'IRCA un intérêt particulier. Aussi a-t-il semblé nécessaire de l'évoquer à ce CSTC, en le présentant et en l'expliquant succinctement.

Un mot pour rappeler les mécanismes de la saignée. Le système laticifère est un système paracirculatoire constitué de films monocellulaires autour du cambium. Il est soumis à une pression de turgescence importante de 9 à 15 bars (0.9 à 1.5 MPa). Cette pression est le moteur qui va conduire à l'expulsion du contenu des laticifères sectionnés lors de la saignée. La charge électronégative caractérisant la surface des particules de caoutchouc permet la stabilité du latex. Leur neutralisation par certains facteurs contenus notamment dans les lutoïdes et qui sont libérés par la rupture de ceux-ci lors de l'écoulement, aboutit à la coagulation du latex, l'obturation de la blessure et l'arrêt de la saignée (Fig.44).

La stimulation qui utilise un générateur d'éthylène, vecteur actif du phénomène, agit sur l'écoulement ; elle facilite les transferts hydriques *in situ* et augmente aussi les aires drainées; elle accroît la stabilité du latex, donc en retarde la coagulation, enfin, elle active la régénération entre deux saignées. Elle s'applique par enduction au pinceau de l'encoche de saignée 48 h avant la récolte (Fig.45).

La nouvelle méthode (Fig. 46) utilise les mêmes principes, mais en améliorant certains paramètres.

* En ce qui concerne la stimulation :

- une surface plus grande d'écorce grattée est traitée. En conséquence les aires drainées sont sensiblement augmentées;
- le stimulant utilisé est l'éthylène gaz, ce qui évite l'effet néfaste du générateur d'éthylène qui est un produit acide et, à terme, nécrose les tissus sur lesquels il est appliqué.

* En ce qui concerne la saignée : il s'agit d'une saignée par piqure, déjà expérimentée par Tupy dans les années 70. La pression de turgescence, moteur de l'écoulement, ne diminue plus brutalement comme lors de la saignée classique, mais reste élevée et donc efficace. Un tube en téflon fixé sur la piqure conduit le latex de l'écorce à un récipient fermé contenant un produit alcalin qui retarde la coagulation en maintenant les charges électronégatives des particules du caoutchouc et en retardant le processus oxydant déstabilisant.

L'écorce grattée 10 x 10 cm est badigeonnée avec un antifongique et recouverte d'un film plastique avec un tuyau permettant d'insuffler, 48 h avant la saignée, 25 à 50 mg d'éthylène. La saignée réalisée une fois par semaine conduit à un écoulement de 36 à 48 h.

RESULTATS

Des résultats préliminaires sont encourageants. Sur plusieurs mois, les récoltes conduisent à une production de 150 à 200 g/a/s soit à une production annuelle de l'arbre de 8 à 10 kg/a.

CONCLUSION

Théoriquement cette nouvelle méthode est très attractive :

- haute productivité,
- diminution de la technicité de la saignée,
- diminution du nombre de saignées,
- utilisation de l'écorce moindre, etc.,
- influence de la pluie fortement réduite.

Il faut cependant vérifier que:

- les différents types de clones répondent efficacement à ce mode d'exploitation,
- l'équipement d'un grand nombre d'arbres et l'utilisation de gaz est techniquement possible,
- à terme la forte production n'entraîne pas un épuisement du matériel végétal et, à cet égard, le diagnostic latex sera un outil très utile.

Beaucoup reste à faire mais cette nouvelle voie peut s'avérer très prometteuse.

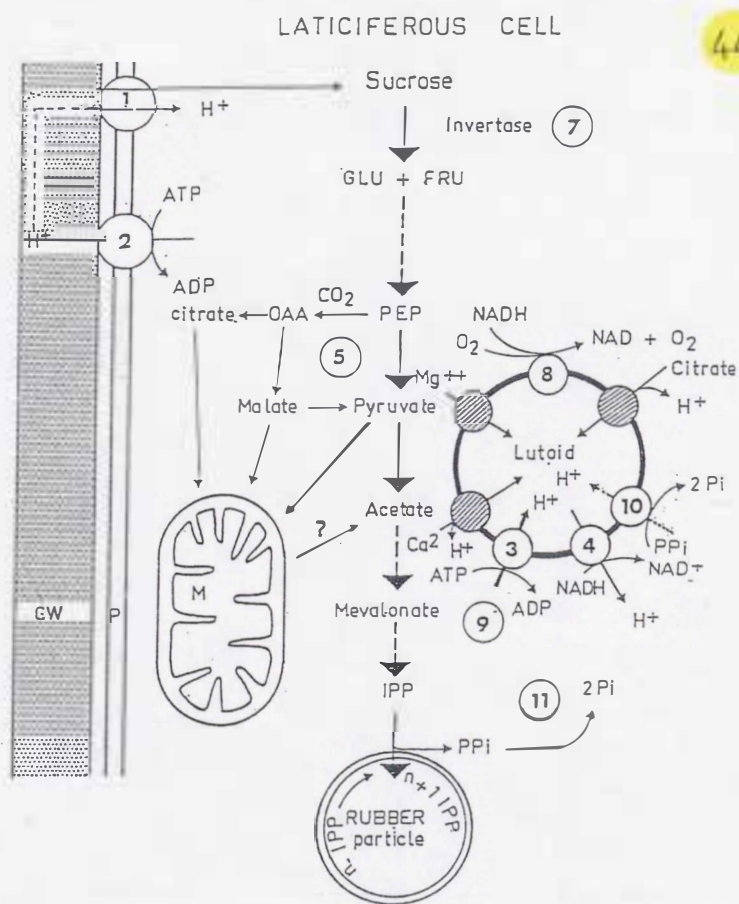
Discussion

M. Rozenbaum

Si j'ai bien compris, on récolte tout le latex sous forme liquide ?

M. Jacob

Oui, car on essaie de reculer au maximum les phénomènes de coagulation.



5 - SPOT - L'EMPLOI DE LA TELEDETECTION EN HEVEACULTURE

J.M. ESCHBACH

SPOT, Satellite Pour l'Observation de la Terre, tourne depuis février 1986 à 830 km d'altitude. Il parcourt son orbite en 108 minutes et passe à la verticale d'un même lieu tous les 26 jours. Des visées latérales, à intervalle de 2 jours, permettent de reconstituer, en stéréoscopies, le relief de la zone étudiée.

L'image a 60 km de côté avec une résolution de 20 m en couleur. Chaque point élémentaire, ou pixel, représente donc 400 m². Pour chacun d'eux, 3 informations sont fournies par les capteurs qui transforment l'énergie lumineuse en énergie électrique. Cette énergie stockée sur une bande magnétique est régulièrement déchargée sur des stations de réception. On a donc trois images correspondant à 3 longueurs d'onde : le vert généralement codé en bleu, le rouge en vert et l'infrarouge en rouge. Cette dernière image est caractéristique de l'activité chlorophyllienne et donc des végétaux qui apparaissent en rouge dans les images satellitaires destinées au grand public.

Avec SPOT, on peut ainsi établir

- * des cartes de potentialités agricoles (Fig. 47), fonction de la typographie et du couvert végétal, avec un certain nombre d'avantages (exhaustivité et diminution des relevés de terrain);
- * des inventaires forestiers et le suivi des peuplements (Fig. 48).

LA TELEDETECTION AU CIRAD

Elle est coordonnée par M. IMBERNON, animateur de la DETEC (Mission Télédétection) autour de quatre thèmes :

- les milieux agricoles. Etude de cartographie à Madagascar, étude de morphopédologie, occupation des sols au Burkina Faso;
- les écosystèmes forestiers. Evaluation des ressources ligneuses et forestières au Mali par le CTFT;
- les écosystèmes pastoraux (Suivi des biomasses herbacées au Niger par l' IEMVT);
- l'agroclimatologie. Bilan hydrique et production végétale au NIGER, analyse de la nébulosité.

APPLICATION A L'HEVEACULTURE

La télédétection a été utilisée à des fins d'inventaire et des études sont en cours dans le cadre du diagnostic des plantations.

Concernant le premier aspect, une cartographie des plantations d'hévéas a été réalisée dans la région de PLIBO CAVALLA au Libéria, dans le cadre d'une étude sectorielle pour la réhabilitation de l'hévéa, financée par la CEE en 1988. Les résultats s'appuient sur une photo-interprétation effectuée la même année à partir d'une couverture aérienne datant de 1968. La scène SPOT de décembre 1986 est de qualité moyenne.

La méthode appliquée a fait l'objet d'une recherche méthodologique. Une analyse en composante principale a permis de décorrélérer les trois canaux d'origine pour créer trois

CARTE DES POTENTIALITES AGRICOLES

47



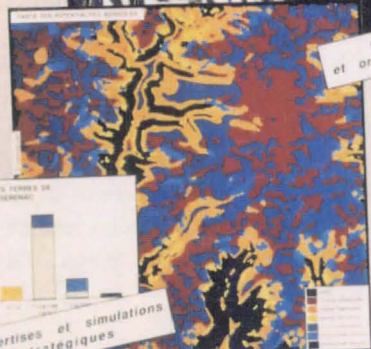
SPOT et l'agriculture



Exhaustivité de l'information géographique



Diminution des relevés de terrain



Choix de sites et orientations de projets

Expertises et simulations stratégiques

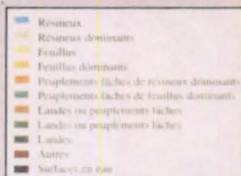
CARTE DES POTENTIALITES AGRICOLES

INVENTAIRE FORESTIER ET SUIVI

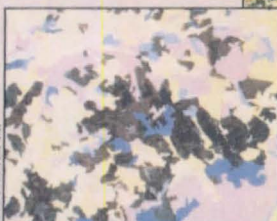
48



SPOT et la sylviculture



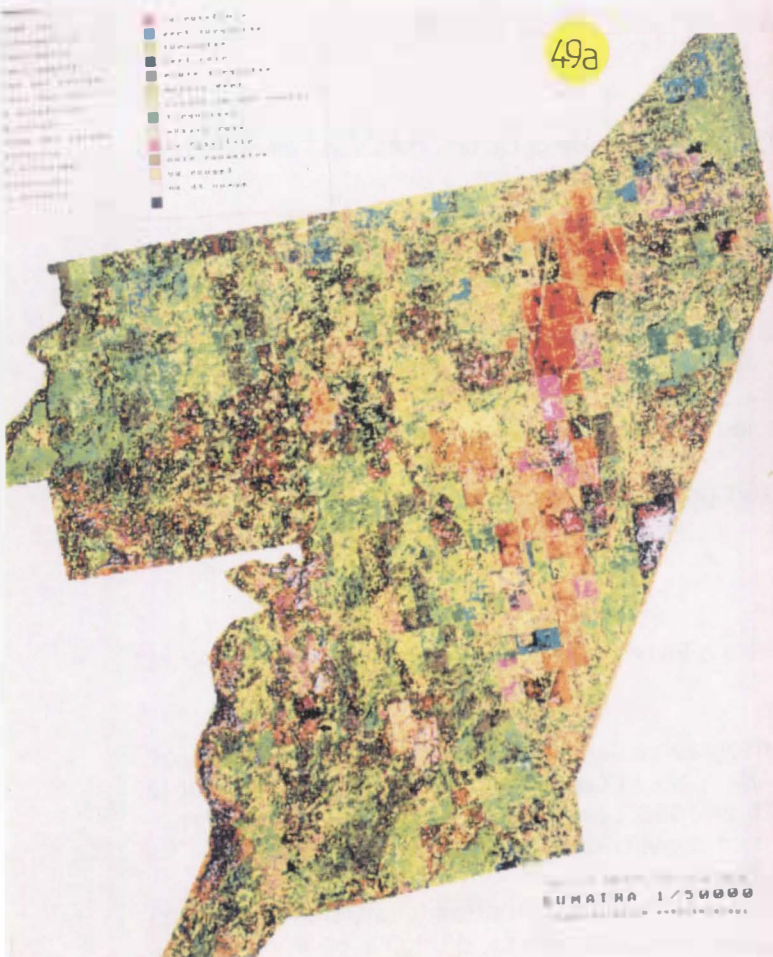
Connaître l'Environnement



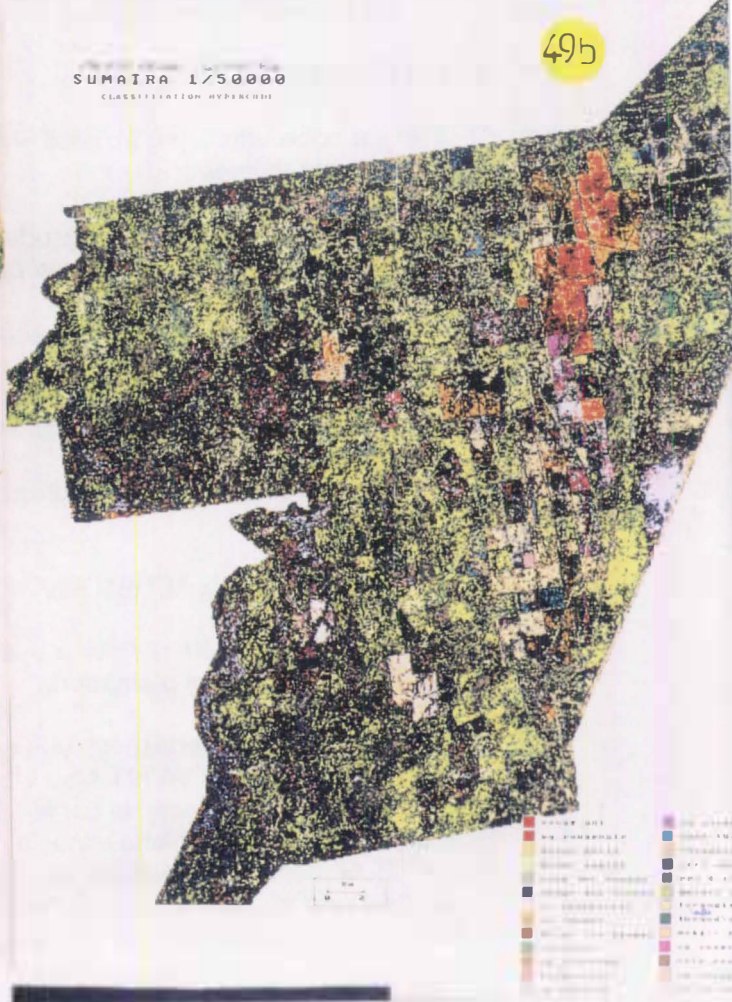
Actualisations fréquentes et rapides



Identifier les changements



49a



49b

SUMATRA 1/500000

CLASSIFICATION HYPERCUI

composantes les plus indépendantes possible. C'est la seconde composante qui a été retenue pour le traitement de l'image. Un lissage a été effectué pour mettre en valeur des régions homogènes. Après détection des limites, une segmentation permet de ne conserver que des contours fermés (ou segments), pour lesquels sont calculées la surface et les caractéristiques radiométriques. Lorsque des plantations sont immatures, le recouvrement du sol n'est pas suffisant pour marquer la signature spectrale au niveau du pixel et seules ont été sélectionnées les plantations supérieures à 6-8 ans. La surface des plantations est calculée par comptage du nombre de pixels appartenant aux segments sélectionnés (400 m²). SPOT permet de recenser 4.340 ha de plantations villageoises. La comparaison avec la carte des plantations industrielles montre que la méthode donne de bons résultats : 4.650 ha de plantations cartographiées avec SPOT pour 4.660 ha données par la carte.

Le deuxième aspect concerne l'aide au diagnostic, qui fait l'objet d'une ATP entre l'IRHO et l'IRCA (MM. OLIVIN et VAN). Cette étude fait suite à des résultats préliminaires obtenus en 1907 sur palmier à huile à Sumatra. Des corrélations ont été mises en évidence entre les valeurs de la réflectance dans le proche infra-rouge (canal 3) et les teneurs foliaires (N, P, Mg, S), ainsi qu'avec l'Indice Foliaire (L.A.I.). Le canal XS2 et l'Indice de Végétation Normalisé ($XS3 - XS2 / (XS3 + XS2)$) apportent des informations complémentaires plutôt liées aux caractéristiques végétales et à l'état sanitaire.

Il s'agit dans l'étude en cours, d'établir des corrélations entre les valeurs radiométriques d'une image satellitaire prise en janvier 1990 et l'état nutritionnel de la plantation GOODYEAR à Sumatra. Le logiciel Didactim a été utilisé pour l'analyse numérique de la bande en juillet 1991.

Plusieurs images ont été obtenues (Fig. 49a et 49b). La carte de la plantation a permis de repérer sur l'image (Fig. 50) l'emplacement des différents blocs. La variation des valeurs numériques, traduites par des couleurs plus rouges ou plus vertes (Fig. 51a et 51b), ou par un ton plus clair ou plus sombre de la composition colorée de l'image, correspond presque toujours à une différence identifiable sur le terrain. Une mission vérité terrain a été effectuée en août 1991. Grâce à la disponibilité des résultats de DF, d'analyse de sol et des rendements des 410 parcelles de la plantation en 1989 et 1990, des cartes thématiques seront établies, avec l'aide de la division Biométrie du CIRAD, par clone et par année de planting : carte de production (rendements haut, moyen et faible), carte de DF, carte de fertilité des sols. Après établissement d'une carte de signatures spectrales par clone et par année de planting, on établira la relation entre les signatures spectrales et les unités cartographiques.

Quoiqu'il en soit, la télédétection permet d'ores et déjà de découper la plantation en zones homogènes permettant de réduire des surfaces à échantillonner pour les diagnostics. En passant d'unités de 25 ha à des unités de 100 à 250 ha, on peut ainsi réduire de 4 à 10 fois les coûts de diagnostic.

Pour terminer, voici la représentation des images obtenues au Libéria à partir du canal 1 et des deux premières composantes de l'ACP (Fig 52 et 53). On peut ainsi observer, outre les plantations d'hévéas (industrielles et villageoises), la rivière CAVALLA (en noir), une plantation de palmiers (en jaune) et les nuages (bleu-vert). Le document couvre une zone de 30 x 40 km.

Discussion

M. Remy

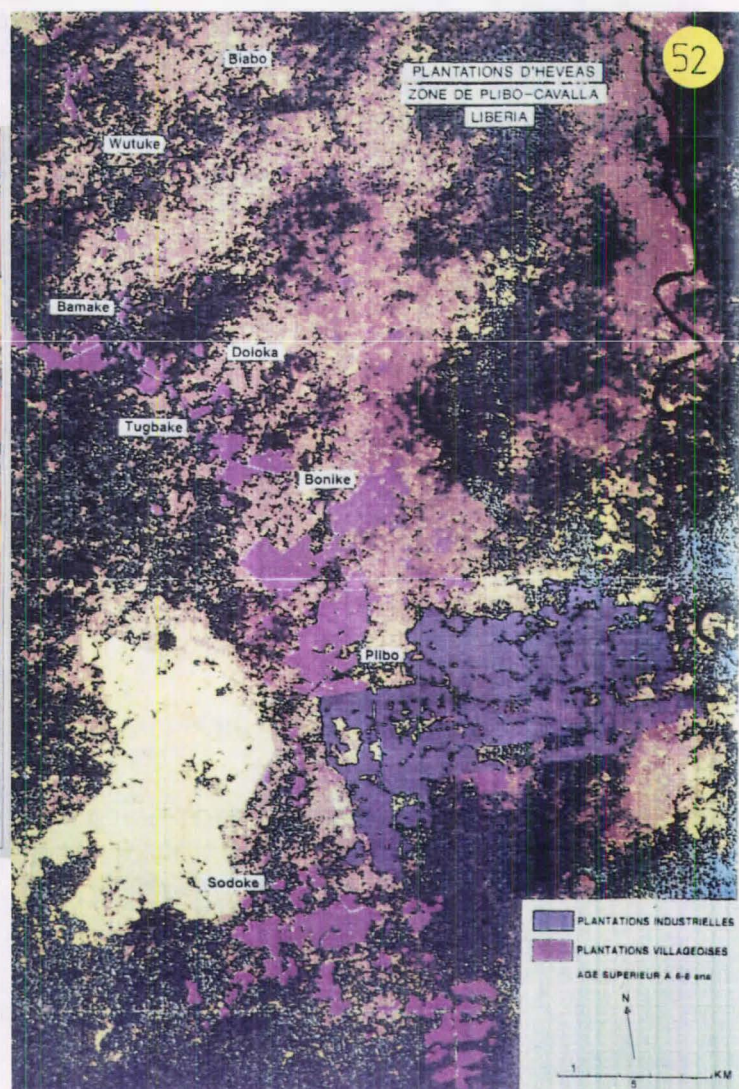
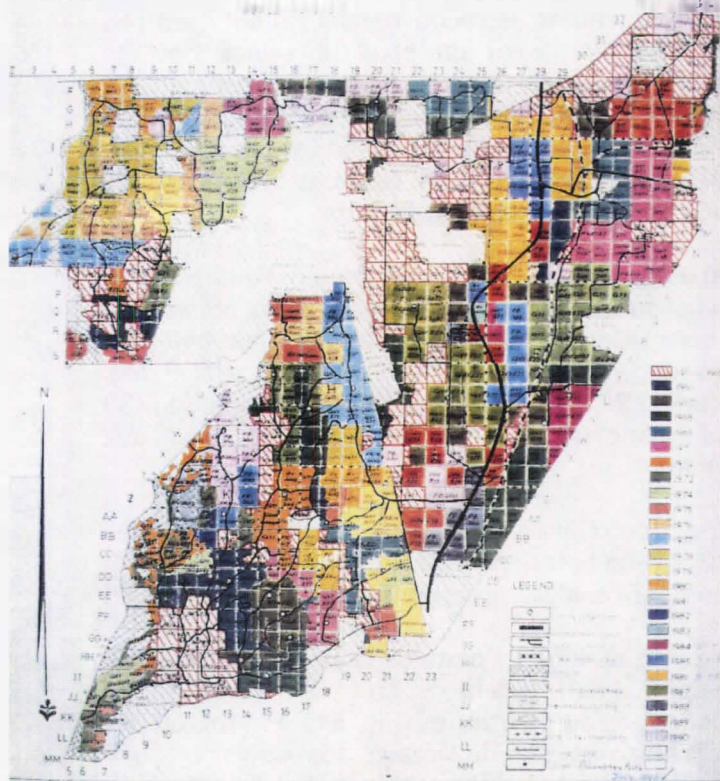
Et ça coûte combien ?

M. Eschbach

Les images SPOT de 60 km X 60 km coûtent environ 20 000 F et l'interprétation 5 à 10 000 F. On peut avoir des imageries (des 1/4 d'image de 30 X 30 km) coûtant moins cher. On reçoit ces informations sur bandes magnétiques.

M. Quencez

Malgré les passages fréquents du satellite, la nébulosité ne pose-t-elle pas quelques problèmes ?



M. Eschbach

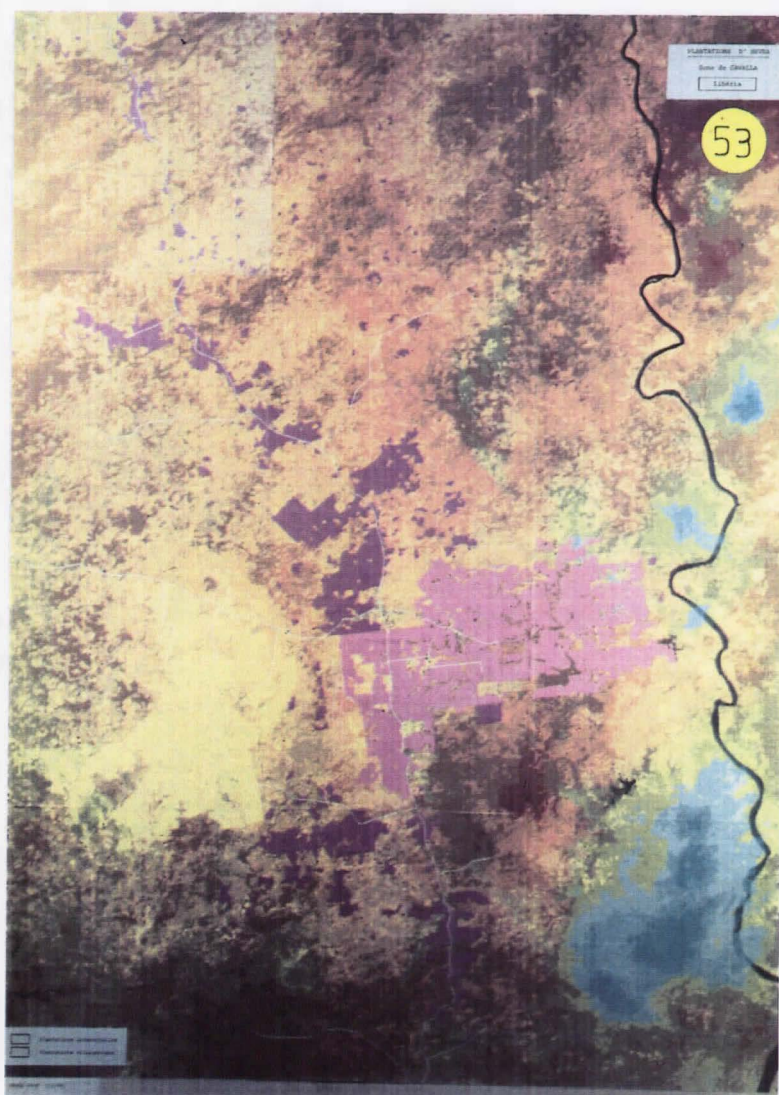
Dans les régions tropicales c'est le principal obstacle. Dans les images du Libéria, certains canaux ont dû être éliminés. Pour l'étude menée en commun, l'IRHO avait programmé ses prises de vue à une période où la nébulosité n'était pas trop forte. Avec les ondes radar il est maintenant possible de s'affranchir de cette nébulosité.

M. Nenna

N'y a-t-il pas des problèmes de signature en fonction de la période de l'année ? par rapport à la défoliation par exemple ?

M. Eschbach

Si bien sûr. En fonction du développement végétatif, mais qui peut aussi être intéressant d'étudier avec les maladies de feuilles.



6 - FACE A L'AGGRAVATION DES MALADIES DE FEUILLES DE L'HEVEA, QUEL DEVELOPPEMENT DES RECHERCHES ?

Les maladies de feuilles de l'hévéa

D. DESPREAUX

Les maladies de l'hévéa apparaissent de plus en plus souvent comme des facteurs limitants majeurs de la production.

Une enquête sur la sévérité de ces maladies a été conduite par l'IRRDB dans 13 pays (Brésil, Chine, Côte d'Ivoire, Gabon, Guyane, Inde, Indonésie, Malaisie, Mexique, Nigéria, Philippines, Sri Lanka et Thaïlande). Les résultats, diffusés en 1990, indiquent que 12 agents pathogènes d'origine fongique peuvent provoquer des dégâts dans les plantations d'hévéas. Un classement basé sur l'indice de sévérité des dégâts et la fréquence de la présence de ces parasites sur hévéa dans les différents pays a été établi (Fig.54).

Cinq champignons peuvent induire des défoliations anarchiques sur les arbres adultes en plantation. Il s'agit de *Colletotrichum gloeosporioides* (= *Glomerella cingulata*), *Phytophthora* sp., *Oïdium heveae*, *Corynespora cassiicola* et *Microcyclus ulei*.

Colletotrichum gloeosporioides est présent dans tous les pays (Fig. 55a et 55b). Cette très large répartition géographique s'accompagne d'une gamme d'hôte très étendue. Les épidémies les plus graves ont été relevées en Afrique Centrale, bien qu'il puisse occasionnellement être très virulent dans d'autres zones géographiques comme l'Afrique de l'Ouest, l'Indonésie, la Malaisie et la Thaïlande. *Phytophthora* sp. (Fig.56a et 56b) a été répertorié dans 8 pays. Trois sont particulièrement touchés: le Brésil, l'Inde et les Philippines. *Oïdium heveae* (Fig. 57a et 57b) a lui aussi été répertorié dans 8 pays. C'est en Asie que l'incidence de la maladie est la plus importante.

Ces trois agents pathogènes sont en fait présents dans toutes les zones hévéicoles. La gravité des attaques ne dépend pas directement de la localisation géographique des plantations, mais plutôt de la réunion de conditions favorables au développement des épidémies. Les conditions climatiques jouent un rôle important. Par exemple, l'existence d'une période à très forte pluviosité (la mousson en Inde) favorise le développement de *Phytophthora* sp.. L'apparition d'épidémies d'*Oïdium heveae* est inféodée à l'existence de périodes fraîches et plutôt sèches.

La sensibilité des clones à ces différentes maladies est aussi bien sûr un facteur important. Une forte variabilité des niveaux de résistance des clones a été constatée. Ces niveaux de résistance sont relativement stables d'un pays à l'autre.

Deux notions nouvelles apparaissent dans les cas de *Microcyclus ulei* et de *Corynespora cassiicola*: celles de limitation spatiale et de race physiologique.

La répartition géographique de *Microcyclus ulei* est restreinte au seul continent américain (Fig. 58a et 58b). Il peut provoquer de telles défoliations sur les clones les plus sensibles qu'elles peuvent entraîner la mort des arbres. Le risque d'extension de ce parasite à d'autres zones hévéicoles est une menace permanente. Les précédentes études réalisées sur *Microcyclus ulei* ont montré l'existence de races physiologiques.

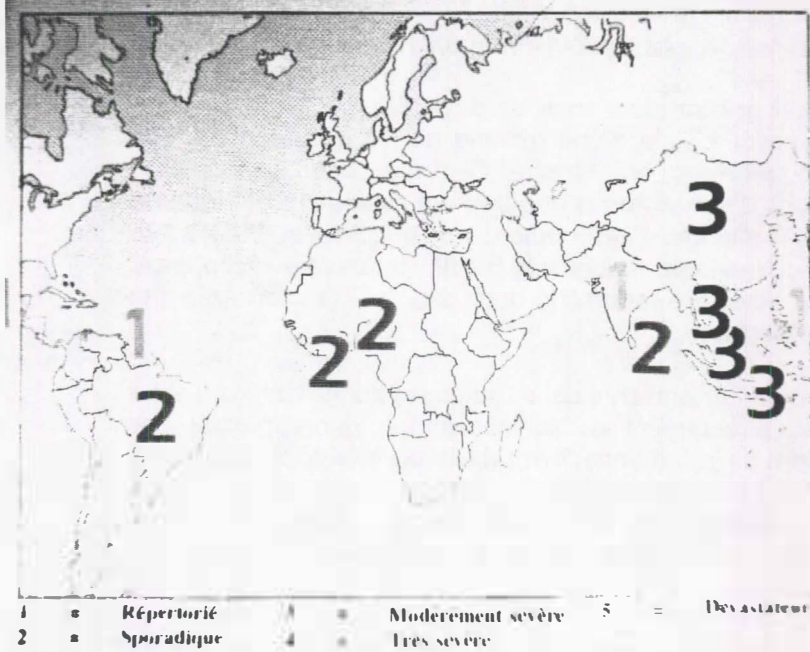
Agents pathogènes

F x S / 100

| | |
|---------------------------------------|------|
| <i>Rigidoporus lignosus</i> | 40,3 |
| <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | 28,9 |
| <i>Phytophthora</i> sp. (panneau) | 28,9 |
| <i>Phytophthora</i> sp. (feuilles) | 23,2 |
| <i>Corticium salmonicolor</i> | 17,5 |
| <i>Ceratocystis fimbriata</i> | 15,9 |
| <i>Ganoderma philipii</i> | 7,9 |
| <i>Oidium heveae</i> | 23,2 |
| <i>Dreschlera heveae</i> | 21,2 |
| <i>Corynespora cassiicola</i> | 4,8 |
| <i>Armillaria mellea</i> | 1,6 |
| <i>Microcyclus ulei</i> | 1,6 |

F: indice de fréquence. S: indice de sévérité
source: enquête IRRDB (1990)

REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET INDEX DE SEVERITE
DES CHUTES DE FEUILLES PROVOQUEES PAR *Colletotrichum*



La présence de *Corynespora cassiicola* a été relevée sur hévéa dans 9 pays (Fig. 59a et 59b). Ce parasite, lui aussi très polyphage, a été identifié un peu partout dans le monde (les fiches C.M.I. font mention de 69 pays). Cependant jusqu'en 1989, cette maladie n'avait provoqué des dégâts importants sur hévéas adultes qu'au Sri Lanka. Une brusque explosion de la maladie était apparue au début des années 80, à la suite du développement à l'échelle nationale d'un clone particulièrement sensible, le clone RRIC 103. L'éradication systématique de ce clone a permis de réduire l'incidence de la maladie à un niveau acceptable. En 1989, une autre explosion de la maladie s'est produite au Sud-Cameroun. La brusque apparition de cette épidémie dans cette région du monde pose la question suivante: s'agit-il d'une souche locale de *Corynespora cassiicola* qui a acquis une spécialisation parasitaire particulière face à l'hévéa, ou bien s'agit-il d'une souche issue d'Asie ?

Deux faits militent en faveur du développement local d'une souche nouvelle: d'une part, les gammes de sensibilité des clones apparaissent différentes au Sud-Cameroun et en Asie, et d'autre part, les symptomatologies ne sont pas identiques dans les deux régions (Fig. 60).

Plusieurs enseignements peuvent être tirés de cette rapide analyse de la répartition géographique des maladies foliaires de l'hévéa. En premier lieu, aucune région du monde n'est complètement indemne de maladie. Quelle que soit la zone d'implantation des hévéas, ils auront à faire face à des attaques de parasites foliaires. En second lieu, plusieurs agents pathogènes susceptibles de provoquer des défoliations anarchiques, sont potentiellement présents sur toutes les zones hévéicoles. Ceci implique que la recherche de méthode de lutte doit tenir compte de l'ensemble de ces agents pathogènes.

Une illustration de pression parasitaire multiple peut être donnée par l'analyse de l'évolution de la densité foliaire dans un champ comparatif de clone à Aek Pamenkie (Nord Sumatra) (Fig. 61a et 61b). La faible densité foliaire observée sur le clone GT1 est consécutive à une épidémie de *Colletotrichum gloeosporioides*. Les fluctuations importantes relevées sur les clones PB 235 et PB 260 sont dues à des attaques d'*Oïdium heveae*.

Le risque que représente l'absence de prise en compte du complexe parasitaire dans son ensemble pour la mise au point des méthodes de lutte est illustré en hévéaculture par les deux graves épidémies de *Corynespora cassiicola*. Par deux fois, en deux zones géographiques très différentes, ce parasite a réduit à néant plusieurs années d'efforts.

LES METHODES DE LUTTE ACTUELLES

La lutte par traitements fongicides

Les maladies foliaires sont généralement faciles à contrôler à l'aide de traitements fongicides en pépinières ou en jardin de bois. Il n'existe pas aujourd'hui de traitements fongicides efficaces sur arbres adultes. Les résultats obtenus avec des applications réalisées à partir du sol, que ce soit avec des pulvérisateurs, des atomiseurs ou des thermonébulisateurs, n'ont pas donné de contrôles satisfaisants.

Les essais les plus intéressants de ces dernières années sont les tentatives de traitements par voie aérienne qui ont été conduits à HEVECAM (Fig.62). Si l'on considère la technique d'épandage, les résultats obtenus sont prometteurs, avec une répartition homogène des traitements.

Toutefois, les capacités de traitement par avion/jour sont relativement faibles, même sans compter les interruptions potentielles dues aux mauvaises conditions climatiques.

Par ailleurs, de telles méthodes sont difficilement envisageables en milieu villageois, ni même, dans toutes les plantations industrielles.

En outre, ces méthodes de lutte sont soumises aux problèmes liés aux traitements chimiques: coûts élevés, risque de développement de résistance, action sur l'environnement.

REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET INDEX DE SEVERITE
DES CHUTES DE FEUILLES PROVOQUEES PAR *Phytophthora*

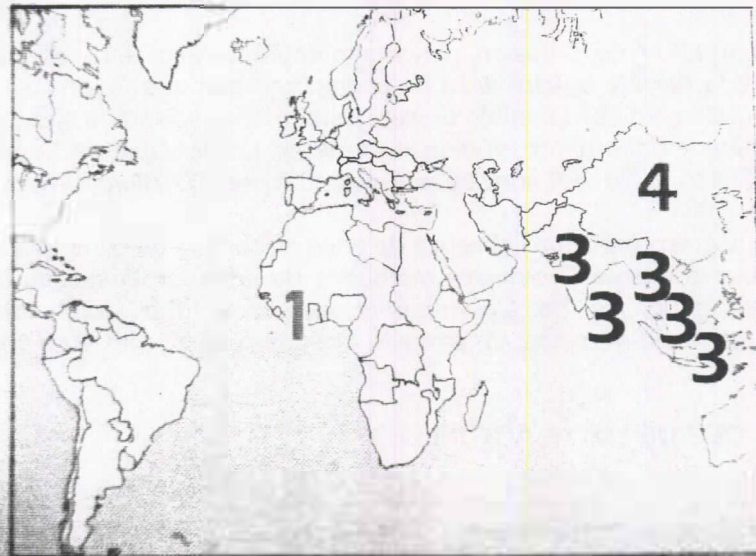
56a



1 = Répertoire 3 = Modérément sévère 5 = Dévastateur
2 = Sporadique 4 = Très sévère

REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET INDEX DE SEVERITE
DES CHUTES DE FEUILLES PROVOQUEES PAR *Oidium*

57a



1 = Répertoire 3 = Modérément sévère 5 = Dévastateur
2 = Sporadique 4 = Très sévère

REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET INDEX DE SEVERITE
DES CHUTES DE FEUILLES PROVOQUEES PAR *Microcyclus*

58a



1 = Répertoire 3 = Modérément sévère 5 = Dévastateur
2 = Sporadique 4 = Très sévère



La lutte par défoliation artificielle anticipée

Le principe de cette méthode de lutte a déjà été développé plusieurs fois dans le cadre du CSTC.

Cette méthode a été développée à HEVECAM et est utilisée avec succès pour lutter contre *Colletotrichum gloeosporioides* depuis plusieurs années.

Deux conditions doivent être remplies pour assurer son efficacité:

- l'existence d'une saison sèche suffisamment longue pour permettre à la refoliation de se produire en dehors des périodes épidémiques;
- l'existence d'un cycle de défoliation naturel proche de la période de défoliation artificielle souhaitée.

Ces deux conditions limitent les possibilités d'utilisation de la méthode. A Mitzic (Gabon), par exemple, la défoliation naturelle se déroule comme au Sud-Cameroun en janvier-février. Or il n'existe pas de vraie saison sèche durant cette période (Fig 63). Par contre, la pluviosité durant les mois de juin et juillet est en général très faible. Pour l'instant, les essais de défoliation artificielle réalisés pendant cette période se sont soldés par des échecs: les défoliations restent incomplètes, les phénomènes de refoliation sont très ralentis et dépassent largement le mois de juillet et d'août.

Dans d'autres régions, il n'existe aucune saison sèche régulière.

La méthode d'esquive par défoliation artificielle ne peut donc être considérée comme un modèle à suivre en tout lieu. Elle n'est applicable que dans des zones limitées. Elle s'est révélée inefficace sur *Corynespora cassiicola* au Sud-Cameroun, peut-être parce que ce parasite est capable de se développer sur des feuilles plus âgées.

La lutte génétique

Les clones sélectionnés pour leurs niveaux de production présentent souvent des niveaux de résistance intéressants face aux champignons auxquels ils ont été confrontés au cours de la sélection. Le clone PB 235, sélectionné en Indonésie pour ses bons niveaux de croissance et de production, montre aussi une bonne résistance face au *Colletotrichum gloeosporioides* (Fig.64).

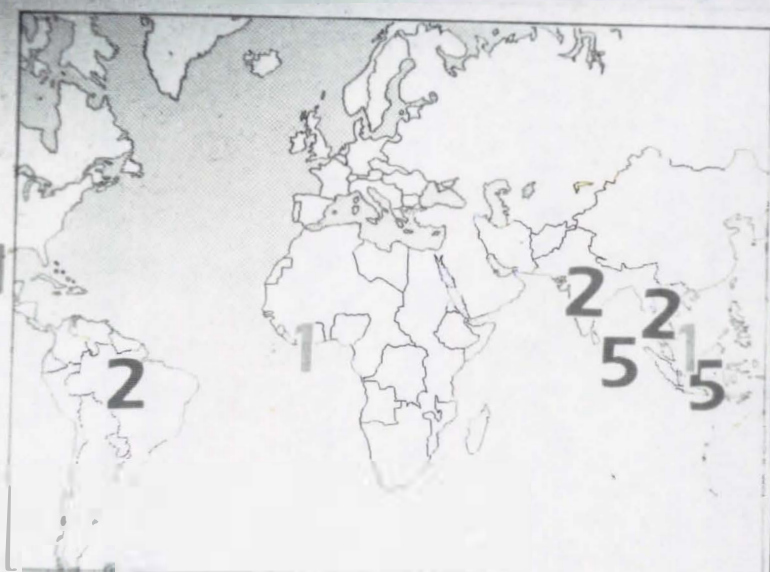
Parfois, les clones sélectionnés présentent d'excellentes caractéristiques dans d'autres zones que celles où ils ont été sélectionnés, comme le RRIC 100 en Indonésie.

Les schémas de sélection développés actuellement sont cependant confrontés à deux problèmes importants :

- en premier lieu, lorsqu'un schéma de sélection est conduit dans une zone où un parasite ne peut pas s'exprimer, il aboutit le plus souvent à une contre-sélection de la résistance à ce parasite. Par exemple, tous les clones Wickham sont très sensibles au *Microcyclus ulei*;
- en second lieu, ce type de sélection fait ressortir les individus qui possèdent une résistance forte. Ces résistances sont souvent associées à un nombre restreint de gènes qui peuvent être contournés par le parasite. Après une période plus ou moins longue, on peut assister à une chute de ces résistances, comme les sélections conduites au Brésil pour lutter contre *Microcyclus ulei*.

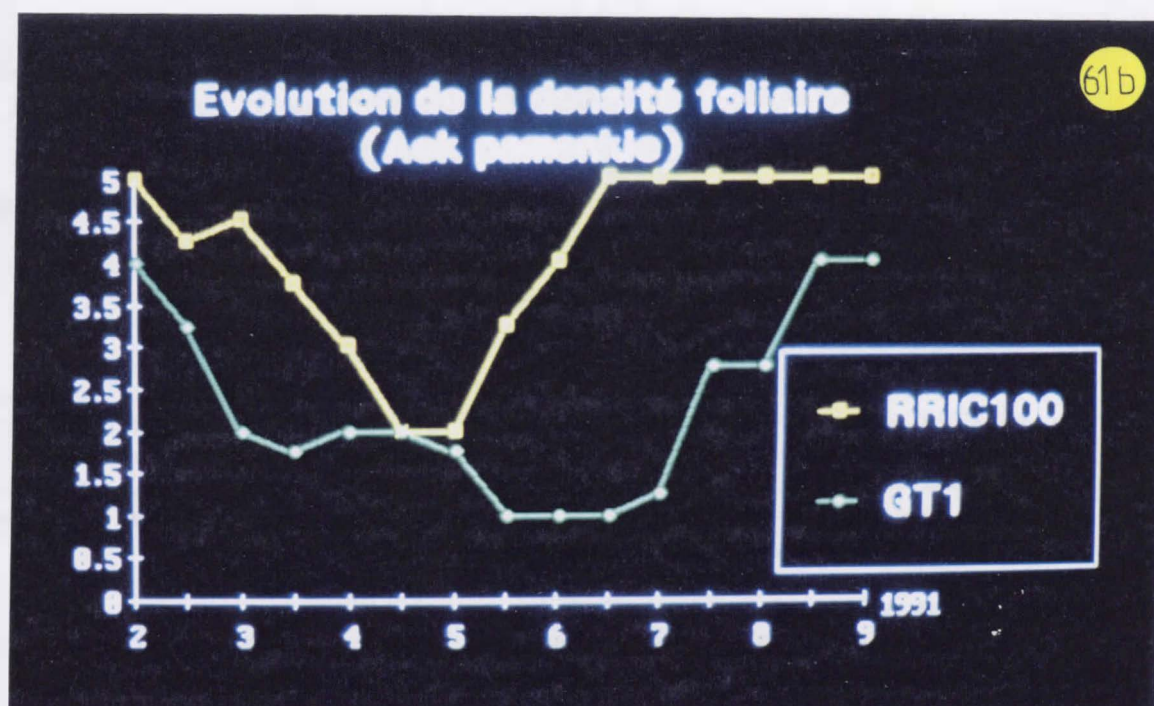
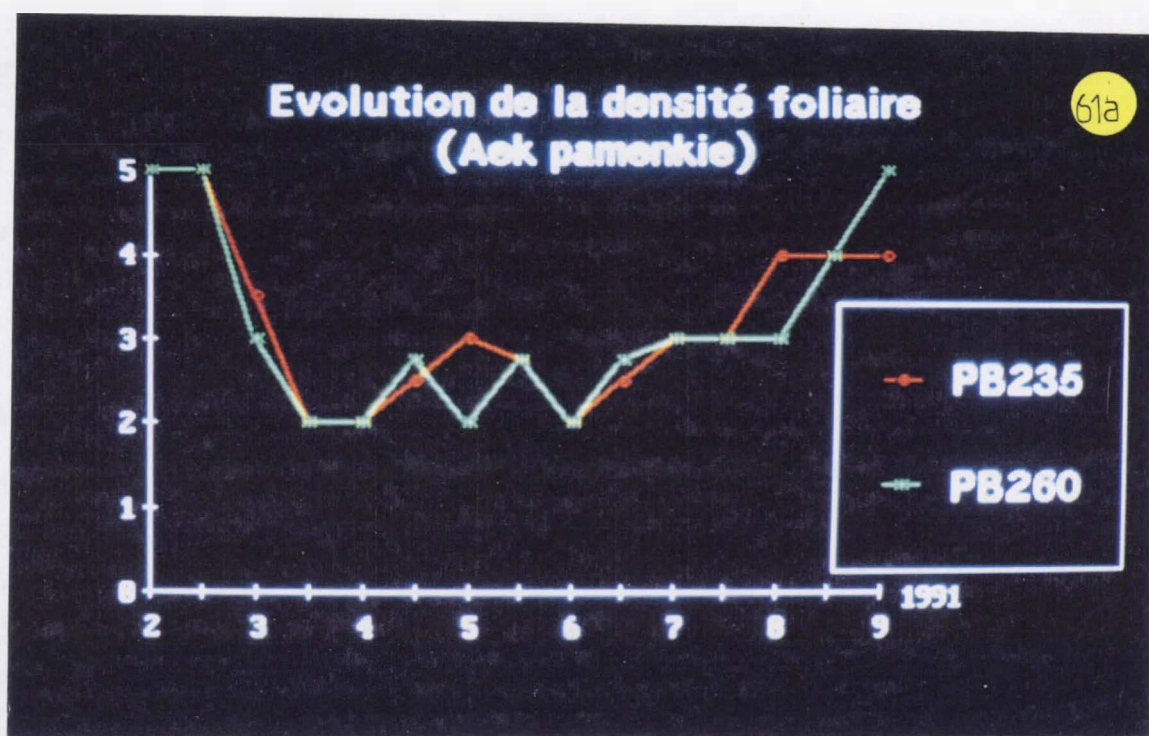
La lutte génétique est pourtant la solution la plus séduisante à terme. Pour obtenir des résultats durables, elle nécessite un investissement recherche à moyen et long terme, sur la biologie des parasites, les conditions favorables aux épidémies et l'évaluation des facteurs de résistance.

REPARTITION GEOGRAPHIQUE ET INDEX DE SEVERITE
DES CHUTES DE FEUILLES PROVOQUEES PAR *Corynespora*



| | | | | | |
|---|--------------|---|---------------------|---|---------------|
| 1 | • Répétitif | 3 | • Modérément sévère | 5 | = Dévastateur |
| 2 | • Sporadique | 4 | • Très sévère | | |





CONCLUSION

Face aux multiples agents pathogènes, la recherche doit utiliser tous les outils dont elle dispose. Les essais sur la lutte par défoliation artificielle et la lutte par traitements fongicides seront poursuivis en relation avec l'industrie phytosanitaire. Cependant la voie qui offre les perspectives les plus intéressantes est la recherche de résistance génétique durable, comme les études qui sont actuellement entreprises par l'IRCA en Guyane pour lutter contre *Microcyclus ulei*. Des études similaires devront être mises en oeuvre dans d'autres zones géographiques, où sévissent d'autres parasites.

Dans tous les cas, il ne faut pas s'attendre à obtenir des résultats spectaculaires à court terme.

Les futurs schémas de sélection devront mieux tenir compte de la résistance aux différentes maladies foliaires. Dans ce cadre, il serait intéressant d'associer les recherches sur les biotechnologies à la mise au point de "screenings" précoces de sur les nouveaux clones produits.

Une autre approche qui pourrait aussi se révéler fructueuse est l'étude des mécanismes physiologiques des phénomènes de défoliation-refoliation et de définir leur déterminisme génétique. En effet, quelque soit le parasite, la part la plus importante des dégâts intervient toujours pendant la même période, la phase de refoliation. Or il existe chez l'hévéa une forte variabilité dans les rythmes de défoliation-refoliation selon les clones. L'étude de ces phénomènes permettrait peut-être de sélectionner des arbres avec des rythmes différents, voire avec une période de refoliation très courte, et induire une esquivé naturelle aux maladies.

Discussion

Pr. Chevaugéon

Avez-vous les moyens suffisants pour répondre aux demandes urgentes sur les maladies de feuilles ? En matière de lutte chimique j'ai l'impression que ...

M. Desprésaux

Pour la lutte chimique on est un peu dans l'impasse, on pourrait développer de nouvelles techniques comme l'injection dans les troncs, la fumigation. Ces techniques ne sont encore qu'expérimentales pour ce type de maladies. Là, il faudrait une puissance de travail plus importante.

Pr. Chevaugéon

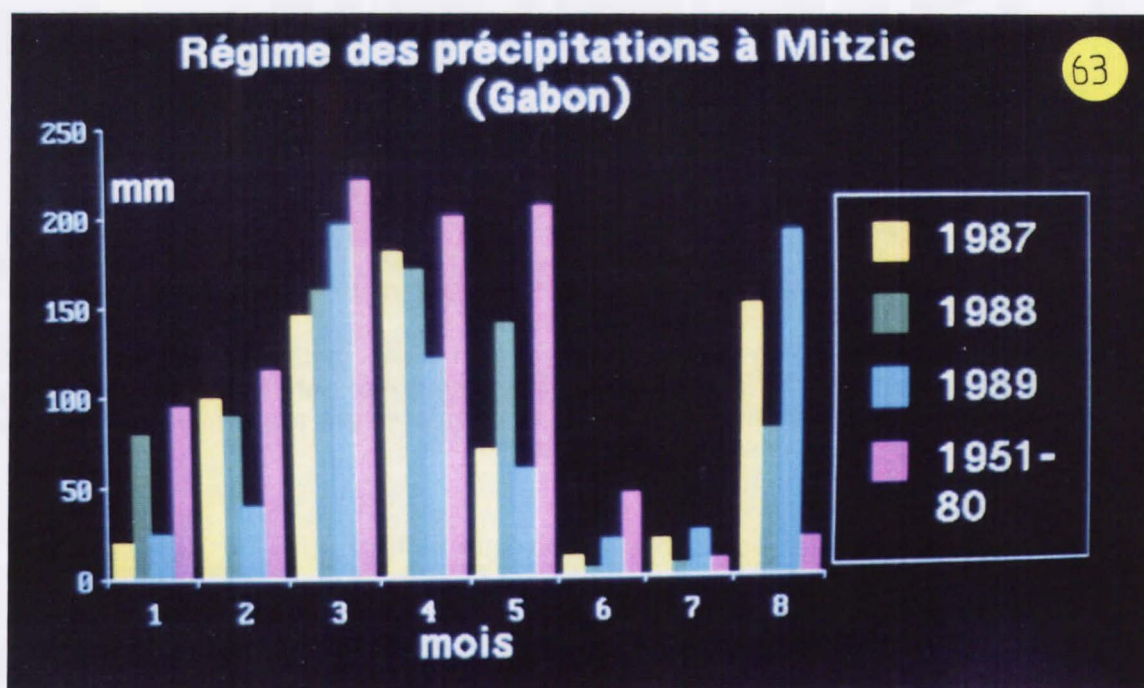
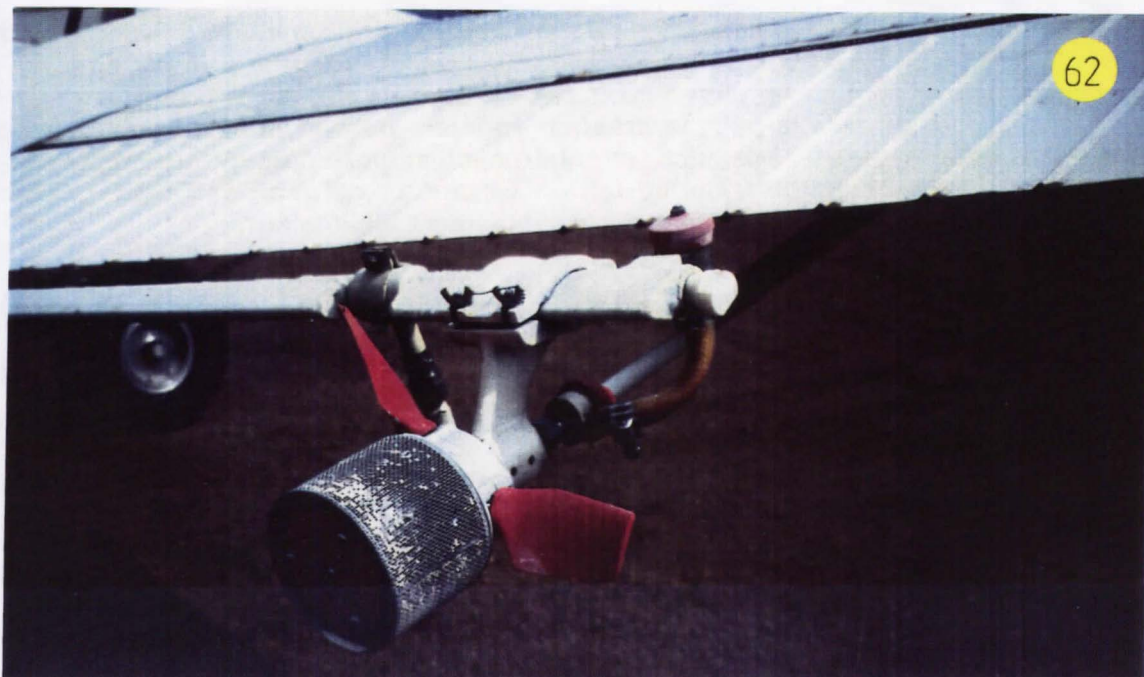
Vous me paraissez optimiste en matière de lutte génétique car vous avez dit qu'il existait du matériel résistant aux différentes maladies foliaires, *Microcyclus ulei* mis à part. On a bien des clones qui résistent en plantation d'essais, mais est-on assuré que cette résistance qui se manifeste actuellement se maintiendra en grande plantation ? Est-on assuré de la durabilité de ces résistances ? Je n'en ai pas l'impression.

M. Desprésaux

Il y a des clones qui sont très fortement résistants, comme ceux montrés sur le schéma (RRIC 100). Il faut commencer par faire un certain nombre de tests de 2^{ème} niveau, c'est-à-dire planter 5 à 10 % en grande plantation avant de se lancer dans une exploitation massive.

Pr. Chevaugéon

Je me demande en revanche si vous n'êtes pas pessimiste quant aux caractéristiques des clones Wickham et leur perte de résistance au *Microcyclus ulei*. Ils n'en manifestent plus au champ. Mais les essais que l'IRCA mène à



Kourou tendent à montrer qu'il leur reste des éléments qui ne sont pas les mêmes dans tous les clones. Ce qui a été perdu chez certains existe encore chez d'autres et on peut peut-être le reconstituer. C'est pessimiste de dire qu'on a tout perdu.

M. Nicolas

En champ, les clones les plus sensibles au *Microcyclus ulei* sont les clones Wickham. En très peu de temps le fonds génétique utile à la plantation a été perdu. C'est un avantage d'avoir domestiqué ces clones. Ils pourraient être des parents potentiels pour la création variétale où on pourrait conjuguer haute productivité et résistance au *Microcyclus ulei*. C'est cette approche de résistance composée qui se fait en Guyane et qui nous fait espérer pouvoir progresser dans cette idée, assez rapidement maintenant.

M. Rémy

Au point de vue traitement, l'avion est moins cher que le traitement au sol même pour les plantations villageoises, si elles sont à moins de 20 km.

A la Niété, cette année, nous avons eu une très bonne refoliation du PB 260, totale, suivie d'une défoliation complète. J'aurai voulu que le VSN puisse dégager les conditions propres au démarrage du *Corynespora*. Au Cameroun, les gens de la banane ont des équipes qui tournent en permanence et qui déclenchent, quand il le faut, les traitements contre la cercosporiose du bananier. Ce sont, comme en France, des stations d'avertissement. Pour le bananier ça marche. Je crois que pour l'hévéa on pourrait faire quelque chose d'analogue. On a entre autre noté que l'infestation commençait toujours par les feuilles du bas et qu'il faut environ une dizaine de jours pour que la chute des feuilles d'un arbre soit totale. On se demande si en s'y prenant assez tôt (en ayant des moyens de détection, de piégeage comme pour le *Colletotrichum*) on ne pourrait pas déclencher des traitements préventifs sur les feuilles basales, peut-être en pleine saison sèche, avec des produits adhésifs qui retiennent le fongicide.

En fait de clones tolérants ou résistants, on n'en connaît qu'un seul: le RRIC 100 et on ne sait pas quel pépin il nous réserve ! Le PB 235 paraissait assez résistant mais là où il jouxte le PB 260 il est malade, le PB 217 est malade, le PR 261 également. Nous avons 1000 ha de PB 260, clone très sensible, qu'en faire ? que recommandez-vous ? le couper et en faire du bois de chauffage ou attendre le progrès génétique ?

M. Despréaux

Vous apportez une réponse sur le terrain: la défoliation artificielle efficace contre le *Colletotrichum* se révèle non viable contre le *Corynespora*. Vous faites de la lutte chimique par avion, c'est une des possibilités mais si c'est valable sur une plantation de la taille d'HEVECAM, qui dispose des avions traitant les bananiers, ce n'est pas forcément exportable.

Si les PB 260 que vous avez ne produisent pas assez, ça risque de faire comme le RRIC 103 au Sri Lanka. Si la période de défoliation est allongée par rapport à la défoliation naturelle il reste cependant toute une période durant laquelle le PB 260 reste correct.

M. Chrestin

N'y a-t-il pas des possibilités de lutte biologique ?

M. Despréaux

Il y a des parasites contre lesquels il est difficile de lutter car ils ont une trop large gamme d'hôtes. On peut limiter la propagation sur hévéa mais, en dehors, ça devient plus difficile.

Pr. Chevaugéon

Le Brésil apporte un modeste début de réponse. M. Junqueira a essayé un hyper-parasite du *Microcyclus ulei* dont il dit que dans le nord du Mato Grosso il est tout à fait efficace. Mais il ne le serait pas dans le sud de la région où est installé Michelin, car la saison sèche y est trop longue et l'hyper-parasite ne s'y

maintient pas pendant la saison sèche. D'où l'idée de Junqueira d'installer des lignes d'hévéas qui serviraient de pièges pour maintenir l'hyper-parasite durant la période sèche. Mais on n'a pas vu le résultat, l'Université du Mato Grosso nord l'applique à grande échelle.

Ce qui rend un peu dubitatif quant aux bons résultats de cette lutte biologique c'est qu'à Kourou, sur les plantations de l'IRCA, l'hyper-parasite existe et le *Microcyclus ulei* est également florissant.

M. Gener

On a vu la diversité des attaques. On aurait tout intérêt au niveau département cultures pérennes à renforcer et installer les programmes phyto-pathologie là où se développent les maladies; en particulier, au Cameroun, car dans toutes les cultures pérennes on y observe un maximum d'intensité de maladies.

M. d'Auzac

Rien de nouveau du côté des molécules chimiques ?

M. Despréaux

Le domaine des molécules chimiques, concernant ces maladies, est un peu dans l'impasse aujourd'hui. Depuis 7-8 ans, les principales molécules développées sont des triazoles, efficaces sur toute une gamme de parasites, sauf sur le *Colletotrichum* où ils sont d'un niveau très moyen d'efficacité. On a rien de nouveau au point de vue chimique pour le *Colletotrichum*, le *Corynespora* et le *Microcyclus ulei*. Pour le *Phytophthora*, il y a bien de nouvelles molécules, c'est alors un problème de traitement (en hauteur). Pour les autres, les techniques d'injection et de fumigation seraient à envisager mais elles demandent alors aux produits des qualités que les firmes ne possèdent pas ou ne développent pas.

M. Geiger

Est-il optimiste d'envisager une lutte génétique ? Si demain on trouve un clone résistant, il ne sera pas installé avant 30 ans.

M. Chevaugnon

Raison de plus pour commencer très tôt.

M. Despréaux

Avec le *Microcyclus ulei*, les Brésiliens ont fait de la résistance génétique, mais pas assez vers la résistance génétique durable. Aujourd'hui, 30 ans après, ils sont toujours dans l'impasse.

PRESENTATION DU DIRECTEUR DE L'IRCA

A. WEIL

L'un de nos principaux chantiers 1992 va être l'établissement de notre schéma directeur à 5 ans. La principale nouveauté par rapport à la démarche que nous suivions précédemment est de partir beaucoup plus nettement des besoins du développement tels que nous les percevons, et de la demande qui nous paraît émerger à la fois des contacts que nous avons avec vous et de notre présence sur le terrain. C'est à partir de ces perceptions que nous essayons de définir des problématiques scientifiques, qui sont le moyen de résoudre les questions qui ont été posées par les besoins du développement. En ce qui concerne les orientations spécifiquement hévéicoles, je dirais que nous avons des idées assez claires sur ce que nous voudrions faire. Ce qui nous reste à faire maintenant c'est de les mettre en cohérence avec les orientations qui ont été développées au niveau des autres programmes qui vont s'intégrer avec nous dans ce futur département cultures pérennes, pour arriver à développer un certain nombre de synergies aussi bien sur le plan scientifique qu'au niveau des moyens. Notre objectif est d'y parvenir à la fin de l'année, pour être prêt début 1993, au moment du lancement effectif du nouveau département CIRAD-Cultures Pérennes.

Une autre de nos grandes priorités, et je tiens à le souligner très énergiquement, est de renforcer nos relations de tous ordres avec l'ensemble de nos partenaires : les scientifiques, les planteurs, les industriels, les bailleurs de fonds. Nous voudrions parvenir à tisser avec eux des liens qui soient plus nombreux, plus ambitieux, plus durables et également plus formalisés. C'est à la fois un choix délibéré de notre part pour répondre à notre vocation d'organisme de recherche finalisé; c'est aussi une nécessité car il faut que nous parvenions à mettre en commun un certain nombre de moyens matériels, intellectuels et financiers. C'est la seule solution, d'intérêt collectif, pour aller aussi vite que possible dans l'approfondissement d'un certain nombre d'approches prometteuses, dont nous sommes persuadés qu'elles ont potentiellement une importante valeur économique.

Dans un an, l'IRCA n'existera plus sous sa forme actuelle. Je voudrais rassurer nos partenaires : dans la nouvelle structure, la filière hévéa sera préservée dans son intégrité et vous travaillerez avec les mêmes interlocuteurs qui, pour l'essentiel, conserveront les mêmes postes. Dans ce cadre là il est probable que le CSTC sera amené à évoluer un petit peu. Il a fait la preuve de son utilité aussi bien sur le plan des échanges scientifiques que sur le plan des rencontres entre les participants, et il est devenu une sorte de référence au niveau de l'ensemble du CIRAD. Ce n'est donc certainement pas pour nous le moment de l'abandonner. Nous nous efforcerons de maintenir ces différentes fonctions, tout en étudiant ensemble les moyens d'accroître l'utilité et l'efficacité de ce type de réunions.

CONCLUSIONS

CONCLUSIONS

du Président du CSTC

Pr. J. d'AUZAC

De par son changement de direction, de par sa future intégration en 1993 au sein du CIRAD-CP (CP pour Cultures Pérennes) l'IRCA se trouve à un tournant, pour ne pas dire un virage, qu'il convient de négocier avec beaucoup de soins. De part et d'autre on réfléchit, on imagine des regroupements inter- ou intradisciplinaires, regroupements dont il n'y a aucune raison de penser qu'ils ne seront pas bénéfiques pour l'efficacité de la recherche au sein du département plantes à latex/IRCA du CIRAD-CP.

Les exposés présentés au cours de cette réunion de par leur qualité scientifique et leurs aspects novateurs laissent bien augurer du dynamisme des équipes de chercheurs... même si celles-ci sont encore le plus souvent par trop minces.

Il a d'ailleurs été mis en évidence combien face au petit nombre de chercheurs statutaires l'apport des étudiants préparant DEA ou thèses revêtait une grande importance. C'est clairement le devoir des dirigeants, de notre département et du CIRAD de faire le maximum afin d'obtenir le financement de bourses (DEA, Thèses, post-Doc) sur les problèmes d'importance majeure, souvent très "pointus" au plan scientifique. Ce doit être également le devoir des professionnels du caoutchouc, Planteurs, Négociants et Manufacturiers de continuer ou de commencer à investir pour l'avenir, dans de tels financements.

*

Au plan de la **TECHNOLOGIE** il est apparu une fois encore combien les souhaits des consommateurs devaient continuer à être pris en compte, et davantage si possible, en ce qui concerne la qualité du produit brut défini par la Viscosité Mooney, le PRI, la teneur en azote et en impuretés.

Ceci justifie les études de l'IRCA sur les relations entre la méthode d'usinage et le mode de séchage d'une part et les propriétés finales du caoutchouc d'autre part. La prise en compte de la masse des macromolécules de caoutchouc et de leur oxydabilité va dans le même sens.

On a envisagé la possibilité de proposer un jour une chaîne standard d'usinage.

Sachant l'importance de la variation saisonnière de la variabilité des propriétés technologiques du caoutchouc à la sortie de l'usine il a été demandé à l'IRCA de faire le point bibliographique des connaissances acquises dans ce domaine.

Grâce au suivi des études mi-théoriques, mi-appliquées qui se poursuivent depuis des années avec l'Université Montpellier 2 sur le séchage du caoutchouc, on perçoit beaucoup mieux aujourd'hui la complexité et plus précisément la spécificité des diverses phases rencontrées lors du séchage de caoutchouc. Un logiciel est en préparation qui vise à commander automatiquement au

cours du séchage les paramètres classiquement impliqués et de façon différentielle dans ces diverses phases, tels la température, la circulation et l'air de son hygrométrie.

Si une "boucle de séchage" est actuellement disponible à Montpellier, il apparaît l'absolue nécessité de l'expérimenter "au pied des hévéas" avec des coagulas frais et non expédiés d'Outre-Mer sur Montpellier.

Malheureusement dans les circonstances actuelles on ne voit guère où installer cet appareil et il est fait appel aux bonnes volontés.

Dans le même ordre d'idée, si les propriétés des caoutchoucs de fonds de tasse provenant des grandes plantations semblent maîtrisées, il n'en est pas de même de ceux qui proviennent des plantations villageoises. Là encore le problème doit être travaillé "au pied des hévéas".

Un exposé du Pr. BROSSE de l'Université du Maine a permis de toucher du doigt les nouvelles possibilités offertes par la chimie moderne pour modifier la molécule de caoutchouc. Ceci pourrait être particulièrement valable après un changement de phase du caoutchouc lorsque celui-ci passe du milieu dispersant aqueux qu'est le latex à un milieu dispersant constitué par un solvant organique. On disposerait là d'un procédé plus direct et beaucoup plus souple que l'utilisation du latex normal.

Sur un autre plan, il semble que l'on ait atteint un palier dans la production de nouveaux polymères et que dans les prochaines années on aille plutôt vers le mélange de polymères, l'adjonction d'ingrédients ... Car les demandes sont importantes sur le marché des nouveaux matériaux.

*

En **Agronomie** et concernant la **Biotechnologie** il nous a été dressé un tableau très prometteur de ce que l'on peut attendre de la technique de multiplication par Embryogenèse Somatique à savoir la **production en masse** de plants clonaux de qualité et à faible coût. L'exemple du Caféier paraît spectaculaire puisque le passage du microbouturage à l'embryogenèse somatique a fait monter la production d'une équipe de 2000 plants par an à 200 000 plants en 2 mois... tout n'est pas rose cependant ; des problèmes pratiques se posent. La technique est moins bien maîtrisée que le microbouturage, d'où un investissement scientifique plus lourd. Il existe également des risques de "non conformité" et là encore on retrouvera vraisemblablement l'influence de l'origine génétique du matériel de départ.

Dans ce domaine on a pu apprécier combien une recherche de base régulièrement poursuivie s'avérerait payante. De quelques cals embryogènes par expérience à 60 % de cals embryogènes, d'embryons anormaux ne se développant pas à des jeunes plantules acclimatées, les progrès sont majeurs. Cette recherche place très vraisemblablement l'IRCA à la 1ère place dans le monde quant à l'embryogenèse somatique de l'hévéa. Sur ce thème cependant il reste que 3 thésards sont en fin de contrats et que s'ils ne sont pas engagés ou remplacés, l'acquis disparaîtra rapidement faute d'un chercheur statutaire.

*

La **Culture *in vitro*** comme l'**Amélioration Génétique** reposent au départ sur la parfaite identification du matériel clonal. C'est un acquis fondamental de l'équipe IRCA au sein du BIOTROP/CIRAD que de disposer d'une méthode parfaitement au point aujourd'hui pour déceler le canard dans la couvée de poussins. L'analyse des isozymes des feuilles d'hévéa permet aujourd'hui d'identifier sans ambiguïté la totalité des clones plantés. Des contrôles izozymiques ont permis d'affirmer que le clone AF 261 n'était pas comme on le croyait au départ du PB 261 mais que de plus il était lui-même pollué par 2 autres clones inconnus.

Un laboratoire portable et une technicienne pour l'identification clonale sont à la disposition des sociétés de plantations et des instituts de recherche qui en feront la demande pour l'identification clonale.

Là encore, l'utilisation de l'outil Biologie Moléculaire permettra d'aller plus loin notamment dans l'établissement des distances génétiques pour les clones du Germplasm 81 : c'est la technique de RFLP ou autrement dit des empreintes génétiques qui permettra la mise sur fiche de l'ensemble du matériel clonal utilisé pour l'amélioration et bien sûr dans les plantations.

*

La **Téledétection** utilisant des images prises par le satellite SPOT nous a été présentée. Il y a là d'une part la possibilité d'une meilleure connaissance du terrain avant même la plantation et d'autre part d'un suivi de l'état de santé des clones et des blocs à l'échelle de la plantation. On est en droit d'en espérer, sur une plantation donnée, la possibilité de déterminer de larges zones **homogènes** couvrant plusieurs blocs sur lesquelles pourraient être appliquées, plus économiquement, les différentes techniques de Diagnostic (feuilles, latex et sol).

*

Les **maladies de feuilles** et le Fomès, points faibles de l'hévéa, sont, surtout pour les premières, encore loin d'être dominés :

Si, au Cameroun le *Colletotrichum* paraît aujourd'hui maîtrisé par la technique d'esquive sur la plantation où il posait le plus de problèmes, cette technique ne s'applique que lorsqu'il existe une saison **sèche** suffisamment longue pour que la refoliation puisse s'installer en dehors de la période épidémique.

Là où le *Colletotrichum* est évincé, le *Corynespora cassiicola* s'installe ; c'est le cas du Sud-Cameroun où il s'attaque à un clone résistant au *Colletotrichum* . Comme l'a souligné le Pr. CHEVAUGEON on est en droit de se demander si, même sur le seul continent africain, l'IRCA dispose des moyens en personnel suffisants pour s'attaquer aux seuls problèmes des maladies de feuilles ? La réponse est très probablement négative.

Quelques indices laissent à penser que des observations très suivies de l'épidémiologie du *Corynespora* permettraient d'aboutir à un système d'alerte et à une lutte préventive comme cela est mené à bien pour le Bananier.

Alors que de nouvelles molécules efficaces tardent à apparaître sur le marché, alors que les traitements aériens des plantations adultes s'avèrent prohibitifs s'ils doivent être fréquents, alors que l'injection de fongicides systémiques au niveau du tronc reste pratiquement inabordable ; la tendance est de se tourner vers la sélection précoce de clones résistants. Une telle entreprise est de longue haleine ("raison de plus pour commencer dès maintenant" a-t-on souligné). Si elle est bien amorcée concernant le *Microcyclus ulei* elle reste dans les limbes pour les autres pathogènes de la feuille ou de la racine.. Ce n'est pas un chercheur mais une large équipe qui serait nécessaire pour connaître de façon suffisamment approfondie les différents schémas de défense de l'hévéa ? Quels sont les différents obstacles que rencontre un pathogène vis-à-vis des barrières de la résistance horizontale ? C'est beaucoup d'observations et d'expérimentations sur champ. C'est également beaucoup d'expériences de laboratoire sur la biologie des pathogènes et la connaissance intime des différents mécanismes physiologico-biochimiques de la "Résistance/Sensibilité entre l'hôte et le parasite".

On doit constater que nos moyens sont disproportionnés face aux tâches à entreprendre.

*
* *

A la fin de cette réunion le Président du CSTC remercie les nombreux participants de quelque horizon qu'ils viennent.

Il les remercie de l'intérêt qu'ils portent à la recherche IRCA. Il remercie particulièrement ceux qui posent des problèmes, ceux qui apportent leurs idées et leur expérience et plus particulièrement encore ceux, et ils sont nombreux, qui ont mis la main à la pâte, s'apercevant, tout compte fait, que l'hévéa, le latex, le caoutchouc pouvaient constituer des matières premières exceptionnelles pour une recherche de haut niveau, qu'elle soit fondamentale ou appliquée.

Merci à tous.

LISTE DES PARTICIPANTS

Liste des participants au CSTC du 27 mars 1992

| | | |
|------|-----------------|----------------------|
| Mlle | F. ANGEVAIN | IRCA |
| Mme | J. APPE | IRCA |
| M. | Pr J. d'AUZAC | USTL |
| M. | B. BACHELIER | CIRAD |
| M. | Y. BANCHI | IDEFOR - DPL |
| M. | J.C. BENET | USTL |
| Mlle | M. BES | SMH |
| Mlle | P. BESSE | IRCA |
| M. | G. BOCCACCIO | IRAP |
| M. | F. BONFILS | Technologue |
| M. | Pr J.C. BROSSE | UNIVERSITE LE MANS |
| M. | J. CAMPAIGNOLLE | IRRDB |
| M. | M.P. CARRON | IRCA |
| Mlle | E. CAZAUX | USTL - IRCA |
| M. | C. CHAINE | IRCA |
| M. | F. CHALLOT | CIRAD - MITEC |
| M. | T. CHAPUSET | IRCA |
| M. | J. CHATAIGNER | INRA |
| M. | J. CHEVAUGEON | UNIVERSITE PARIS SUD |
| M. | H. CHRESTIN | ORSTOM |
| Mme | A. CLEMENT | IRCA |
| M. | M. COLINEAU | MICHELIN |
| Mlle | F. COUDERC | IRCA |
| M. | D. DESPREAUX | IRCA |
| M. | A. DOAT | SAPH |
| M. | F. DOUXAMI | TERRES ROUGES |
| M. | D. DURIS | CIRAD - IRCC |

| | | |
|------|--------------------|-----------------|
| M. | F. ENJALRIC | IRCA |
| M. | J.M. ESCHBACH | IRCA |
| M. | H. ETIENNE | IRCA |
| M. | P. FISCHER | MICHELIN |
| M. | J.M. GABRIEL-ROBEZ | SOCFINCO |
| M. | D. GARCIA | USTL - IRCA |
| M. | J.P. GEIGER | ORSTOM |
| M. | P. GENER | CIRAD - IRCC |
| Mlle | A. GOUYON | IRCA |
| M. | B. GRAY | BANQUE MONDIALE |
| M. | V. LE GUEN | CIRAD - IRHO |
| Mme | C. HAMELIN | IRCA |
| M. | R. HIRSCH | CCCE |
| Mlle | F. HOUSTI | USTL - IRCA |
| M. | J.L. JACOB | IRCA |
| M. | M. JACQUOT | CIRAD - MICAP |
| Mme | F. KATZANEVAS | IFOCA |
| M. | R. LACROTTE | IRCA |
| M. | J.C. LAIGNEAU | IDEFOR - DPL |
| Mlle | M.C. LAMBERT | IRCA |
| M. | L. LARDET | SMH |
| M. | M. LARTAUD | IRCA |
| M. | E. LATRILLE | HEVECAM |
| M. | A. LAUZERAL | CFPI |
| M. | H. de LIVONNIERE | IRCA |
| M. | H. MANICHON | CIRAD |
| Mlle | F. MARTIN | IRCA |
| M. | A. MENIL | IRAP |
| M. | J.L. MERCERON | MICHELIN |

| | | |
|------|-----------------------|---------------------|
| M. | J. MEUNIER | CIRAD - CP |
| Mme | N. MICHAUX - FERRIERE | CNRS |
| M. | P. MONTORO | IRCA |
| M. | P. NARBOUX | SAFIC ALCAN |
| M. | N. NENNA | SIPH |
| M. | D. NICOLAS | IRCA |
| M. | H. OMONT | IRCA |
| M. | E. PENOT | Agronome |
| Mlle | Y. PERRIN | IRCA |
| M. | C. PIERI | CIRAD - AGER |
| M. | J. POLTON | UNION DES PLANTEURS |
| M. | J.C. PREVOT | IRCA |
| M. | P. QUENCEZ | CIRAD - IRHO |
| M. | J. REMY | HEVECAM |
| M. | G. de ROQUEMAUREL | HEVEGAB |
| M. | B. ROZENBAUM. | EURONAT |
| M. | J. SAINTE BEUVE | IRCA |
| Mme | C. SANIER | IRCA |
| Mme | A. de SARTIGES | IRCA |
| M. | J. SCHWENDIMAN | CIRAD - BIOTROP |
| M. | M. SEGUIN | IRCA |
| M. | J.B. SERIER | IRCA |
| M. | SISWANTO | IRCA |
| M. | C. TEISSON | CIRAD - BIOTROP |
| M. | J.C. TOURON | IRCA |
| Mlle | M. TOUSSAINT | IRCA |
| M. | P. de VERNOU | IRCA |
| M. | J.C. VINCENT | CIRAD - IRCC |
| M. | A. WEIL | IRCA |

